

T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

KARMA MODELLİ U-TİPİ MONTAJ HATLARININ BESLENMESİ VE
DENGELENMESİ İÇİN OPTİMİZASYON MODELİ: GERÇEK BİR
UYGULAMA

BİTİRME TASARIMI ÇALIŞMASI

Ayça Yirmili
Fatime Koyuncu
Emine Tekin
İrem Çukurlu

TEMMUZ 2020
TRABZON

T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**KARMA MODELLİ U-TİPİ MONTAJ HATLARININ BESLENMESİ VE
DENGELENMESİ İÇİN OPTİMİZASYON MODELİ: GERÇEK BİR
UYGULAMA**

Ayça Yirmili

Fatime Koyuncu

Emine Tekin

İrem Çukurlu

Jüri Üyeleri

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk YILMAZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ÖZÇELİK

Üye : Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN

Bölüm Başkanı: Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ

TEMMUZ 2020

TRABZON

ÖNSÖZ

Tez çalışmamızın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığımız, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamızı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocamız ve tez danışmanımız Sayın Dr.Öğr. Üyesi Ömer Faruk Yılmaz’a teşekkürlerimizi sunarız. Yine tez çalışmalarımız boyunca yol gösterici eleştirileri ve yaptıkları değerli katkılardan ötürü sayın hocalarımız Arş.Gör.Dr. Kadir Büyükozkan’a ve Dr.Öğr.Üyesi Gökhan Özçelik’e teşekkürü borç biliriz. Lisans eğitimimiz boyunca bizlere ışık tutarak yeni kapılar aralayan bölümümüzün tüm saygıdeğer öğretim görevlilerine teşekkür ederiz.

Tezimizin gerçekleştirilmesinde bize 2209 TÜBİTAK Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında destek sunan TÜBİTAK’a teşekkür ederiz. Bizlere projemizi gerçekleştirme imkanı sunan HKS HAS ASANSÖR KAUCUK PLASTİK METAL SAN. TİC. A.Ş. ve tüm değerli çalışanlarına teşekkür ederiz.

Daima desteklerini arkamızda hissettiğimiz ailemize de şükranlarımızı sunmayı bir borç biliriz.

Ayça Yirmili

Fatime Koyuncu

Emine Tekin

İrem Çukurlu

Trabzon 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

1. GİRİŞ	3
----------------	---

1.1.	MONTAJ HATLARI.....	5
1.1.1.	Montaj Hattı Tarihçesi.....	5
1.1.2.	Montaj Hattı Kavramı.....	5
1.1.3.	Montaj Hattı Temel Kavramlar	6
1.1.4.	I Tipi Montaj Hatları	11
1.1.5.	U-Tipi Montaj Hatları.....	11
1.2.	HAT BESLEME	12
1.3.	ELE ALINAN SİSTEMİN TANIMI.....	13
1.3.1.	Firmanın Sektörü ile İlgili Bilgiler	13
1.3.2.	İşletme Hakkında Genel Bilgiler	14
1.3.3.	İşletmenin Üretim Kapasitesi	16
1.3.4.	İşletmede Üretilen Ürünler	16
2.	LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	20
3.	OPTİMİZASYON MODELİ	27
4.	GERÇEK BİR UYGULAMA.....	31
5.	SONUÇLAR	40
6.	KAYNAKÇA	42
	ÖZGEÇMİŞ.....	47
	EKLER	49
	EK-1 GAMS KODLARI	49
	Ek 2- İşlerin Süreleri.....	55
	Ek 3- İşçi Yetenekleri	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. MHDP Türleri	6
-------------------------------	---

Şekil 1.2. 10 İş Ögesi İçin Öncelik Diyagramı Örneği [18]	9
Şekil 1.3. İşletme Görünümü	15
Şekil 4.1. Panel Montaj Hattı Öncelik Diyagramı	32
Şekil 4.2. Başlık Montaj Hattı Öncelik Diyagramı	32
Şekil 4.3. Direk Montaj Hattı Öncelik Diyagramı	33
Şekil 4.4. Ortak Öncelik Diyagramı	34
Şekil 4.5. Mevcut Durum I-Tipi Yerleşim	36
Şekil 4.6 Optimizasyon Sonucu U-Tipi Yerleşim	36
Şekil 4.7. Senaryo Analizi Performans Karşılaştırması	39
Şekil 4.8. Besleme Sistemi	39
Şekil 5.1. Yapılan İyileştirmeler	41

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1.1. 10 İş Ögesi İçin Öncelik Matrisi Örneği	9
Tablo 1.2. İşletme Tanıtım Kartı	14
Tablo 2.1. Literatür	24
Tablo 4.1. Ağırlıklı Ortalama Süre Örneği	33
Tablo 4.2. Optimize Atamalar	35
Tablo 4.3. Senaryo Analizi	38
Tablo 5.1. Denge Hesapları	40

SEMBOLLER DİZİNİ

MHDP : Montaj Hattı Dengeleme Problemi

TS : Toplam İş Süresi

N : Operasyon Sayısı

t_i : i. Operasyonun İşlem Süresi

C : Çevrim Süresi

T : Toplam Üretim Süresi

ÜS : Üretim sayısı

n_{enk} : Minimum İş İstasyonu Sayısı

E : Esneklik Oranı

D : Denge Kaybı

C^* : Ortalama İş İstasyonu Süresi

DI : Düzgünlük İndeksi

t_{enb} : İş İstasyonu Sürelerinin En Büyüğü

KE : Kuramsal Etkinlik

n_{enaz} : En Az İş İstasyonu Sayısı

HE : Hat Etkinliği

ÖZET

Bu çalışmada, karma modellenli deterministik U-tipi montaj hattı dengeleme problemine odaklanılmıştır. Bu doğrultuda, ele alınan problem için tam zamanında besleme politikasını dikkate alarak bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Ele alınan modelde, toplam istasyon sayısının azaltılması amacına ulaşılması hedeflenmektedir. İşçiler farklı işlerde, farklı yeteneklere sahiptir. Bu yüzden, istasyonlara atanacak işçilerin, o istasyona atanmış işlerde en yüksek yeteneğe sahip olması beklenir. İşçilerin performans değerlendirmeleri belirli bir değer aralığında yapılmaktadır.

U-tipi montaj hattında dengelemenin yanı sıra, hat besleme konusu da ele alınmaktadır. Hat beslemesi, montaj hattında işlenmekte olan modellerin parça ihtiyaçlarına ve iş istasyonlarının çevrim sürelerine göre, depodan hatlara malzeme dağıtımı yapılmasıdır. Montaj hattı dengeleme modeline eklenen hat besleme kısıtları ile model genişletilerek, dengeleme ve besleme kararlarına aynı anda yer verilmiştir.

Geliştirilen optimizasyon modeli doğrusal olmayan bir yapıda olduğundan, yardımcı değişkenler kullanılarak doğrusal bir yapıya getirilmiştir. Çevrim süresinin performans göstergeleri üzerine olan etkilerinin araştırılması için, senaryo tabanlı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Tanımlanan optimizasyon modeli GAMS 23.6 Cplex paket programı ile çözülmüştür. Gerçek bir uygulamadan türetilen veriler kullanılarak modelin doğrulaması sağlanmıştır. Sonuçlara göre, önerilen optimizasyon modelinin, mevcut sistemle karşılaştırıldığında, daha iyi sonuçlar sağladığı görülmektedir.

Akademik literatürde, yazarların bilgisi dahilinde, karma modellenli U-tipi montaj hattı dengeleme problemini performansa göre işçi atama ve hat besleme konularıyla birlikte inceleyen çalışmanın olmaması bu çalışmanın motivasyon kaynağını oluşturmaktadır. Bu anlamda, bu çalışmayla birlikte gelecek çalışmalar için bir yol haritası oluşturulması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: U-Tipi Hatlar, Montaj Hattı Dengeleme, Karma Model, Hat Besleme, İşçi Atama, İşçi Performansları

ABSTRACT

In this study, we investigate the problem of deterministic mixed model U-type assembly line balancing problem. To this end, an optimization model is developed for the addressed problem by considering the just in time feeding policy. In the optimization model, it is aimed to achieve the objective of reducing the total number of stations under the set of constraints. Workers have different skills in different jobs. Therefore, the workers to be assigned to the stations are expected to have the highest skill in the jobs assigned to that station. Workers' performance evaluations are tuned within a certain value range.

In addition to the balancing U-type assembly line subject, the issue of line feeding is also discussed. Line feeding is the distribution of materials from the warehouse to the lines according to the part needs of the models being processed in the assembly line and the cycle times of the workstations. With the line feeding constraints, the model is expanded to focus on balancing and feeding decisions simultaneously. Because of the developed optimization model has a non-linear structure, it is linearized with the aid of auxiliary variables.

A scenario-based sensitivity analysis is conducted to investigate the effects of the cycle time on the performance indicators. The optimization model is solved with GAMS 23.6 Cplex package program. The data extracted from a real case study is used to validate the developed model. According to the results, it is observed that the proposed optimization model leads to better results compared to the current system.

To the best of our knowledge, in the existing literature, there is not any study that examines the mixed model U-type assembly line balancing problem with the topics of performance-based worker assignments and the line feeding together, which constitutes the motivation of this study. That being the case, this study intends to be a stepping stone for future studies.

Keywords: U-Type Lines, Assembly Line Balancing, Mixed Model, Line Feeding, Worker Assignment, Worker Performance

1. GİRİŞ

Günümüzde, rekabet açısından elde bulunan kaynakların en iyi şekilde değerlendirilmesinin bir zorunluluk olduğu bu süreçte, montaj hatlarında dengeleme ve besleme işlemlerinin en iyi şekilde gerçekleşmesi kritik bir önem taşımaktadır. Endüstriyel fabrikalarda kıt kaynakları daha etkin kullanabilmek ve üretim maliyetlerini en düşük seviyeye getirebilmek amacıyla montaj hattı üretim sistemlerine yönelme yaşanmıştır [1].

Montaj hatları ilk defa Ford firması tarafından kullanılmıştır. Geçmişten günümüze talep oranlarının yükselmesi ile birlikte, üretim kapasitelerinin artması ve istenilen kalitede ürünler üretilmesinin amaçlanması seri üretim sistemleri için, montaj hatlarını vazgeçilmez bir parça haline getirmektedir.

Yüksek rekabetin artması ile birlikte üretim süreçlerinin, atıl sürelerinin ve tedarik sürelerinin azaltılmasının sonucu olarak Toyota Üretim Sistemi ortaya çıkmıştır. Kısa zamanda diğer Japon firmaları tarafından da bu üretim sisteminin kullanılması ile birlikte Japon ürünlerinin sektörde değer görmesi sağlanmıştır. Sürekli gelişmekte olan Toyota Üretim Sisteminin temel amacı, üretimdeki israfların azaltılması ile birlikte verimliliği sağlayarak rekabette üstünlük sağlanmaktır.

Montaj hatları, iş gücünden veya taşıma sistemlerinden yararlanılarak ürünlerin tek parça akış sağlayacak şekilde bir hat üzerinde üretildiği sistemlerdir. Montaj hatlarının etkin bir şekilde yönetilebilmesi için iş parçaları, öncelik ve çevrim süresi kısıtları göz önünde bulundurularak iş istasyonlarına atanmaktadır. Bu istasyonların hat boyunca sıralanması ve kayıp sürelerin en aza indirilmesi ile verimlilik artışı sağlanmaktadır [2].

Seri üretim gerçekleştirmek için oluşturulan montaj hatlarında, iş istasyonlarına atanacak olan işçilerin, iş sürelerinin dengelenmesi gerekmektedir. Hattın verimli bir şekilde çalışması için belirli kısıtlar çerçevesinde, iş görevlerinin çevrim süreleri toplamı en küçüklenerek istasyon kapasitelerinin maksimum şekilde kullanılması gerekmektedir.

Son zamanlarda, Toyota Üretim Sistemlerinin gelişmesi ile birlikte U-tipi montaj hattı kullanımı yaygınlaşmıştır. U-tipi montaj hatlarının, geleneksel I-tipi montaj hatlarına göre

üstünlüklere sahip olması, tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. U-tipi montaj hattında çalışmakta olan işçiler, hattın giriş ve çıkış kısımlarındaki görevleri rahatlıkla ve birlikte yerine getirebilirler.

U-tipi montaj hattının en önemli özelliklerinden biri, işlerin istasyonlara atanmasında esnek bir yapıya sahip olmasıdır. Geleneksel I-tipi montaj hattında, bir görevin istasyona atanabilmesi için, öncül görevlerinin tamamının bir önceki istasyona atanmış olması gerekmektedir. Buna kıyasla, U-tipi montaj hattında öncül ve ardıl görevlerin tamamının aynı istasyona veya önceki istasyonlara atanmış halde bulunması gerekmektedir [3].

Özetle, üretimde verimlilik önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple, hat tasarımı ve dengeleme konusunda ilgi her geçen gün daha çok artmaktadır. Ancak yapılan çalışmalara bakıldığında, bu bilgiler teoride kalmakta ve uygulamaya geçirilen çok az çalışma bulunmaktadır. Bu durumun başlıca nedeni, iş gücündeki farklılıkların göz ardı edilmesidir. Böylelikle, işçi ataması konusu ortaya çıkmaktadır. İncelenen literatürde, işçi atama konusu ile montaj hattında dengeleme ve besleme konuları ayrı ayrı ele alınmaktadır. Ancak, gerçek hayatta uygulanabilirliğin ve verimin artması için bu konuların birlikte ele alınması gerekmektedir.

Montaj hattı besleme ile firma içerisindeki âtıl zamanların azaltılması ve işçilerin verimliliği artırılması hedeflenmektedir. U-tipi montaj hattı besleme yöntemlerinde, genellikle hat yanı stoklama kullanılmaktadır. Yöntemde, montaj hatlarının başına konulan kitler (kutular) sayesinde istasyonların parça ihtiyacı karşılanmaktadır. Planlanan çalışmaların daha verimli olması ve hat üzerindeki istasyonların stoksuz kalma olasılığının düşük olması için, bu yöntem kullanılmıştır.

Bu çalışmada montaj hattı dengeleme, besleme ve işçi atama problemlerinin eş zamanlı olarak ele alınmasını sağlamak için matematiksel bir model geliştirilmiştir.

1.1. MONTAJ HATLARI

1.1.1. Montaj Hattı Tarihçesi

Montaj işlemi, geçmişten günümüze kadar pek çok değişim ve gelişime uğramıştır. Montaj hatları, ilk defa 1913'te Henry Ford'un yürüyen bant sistemini uygulaması ile kullanılmaya başlanmıştır [4].

Otomobilin yürüyen bir bant sistemi ile iş istasyonlarının önünden belirli bir hızda geçmesi planlanarak iş gücünden ve zamandan tasarruf sağlanmıştır. Bu yenilik, birim zamanda üretilen otomobil sayısının artmasına olanak sağlamıştır.

Montaj hatlarının önemi, üretim taleplerinin ve rekabetin gün geçtikçe artması ile birlikte, yüksek kalitede, yüksek miktarda ve düşük maliyetli olarak üretim yapılması hedeflendiği için artmaktadır.

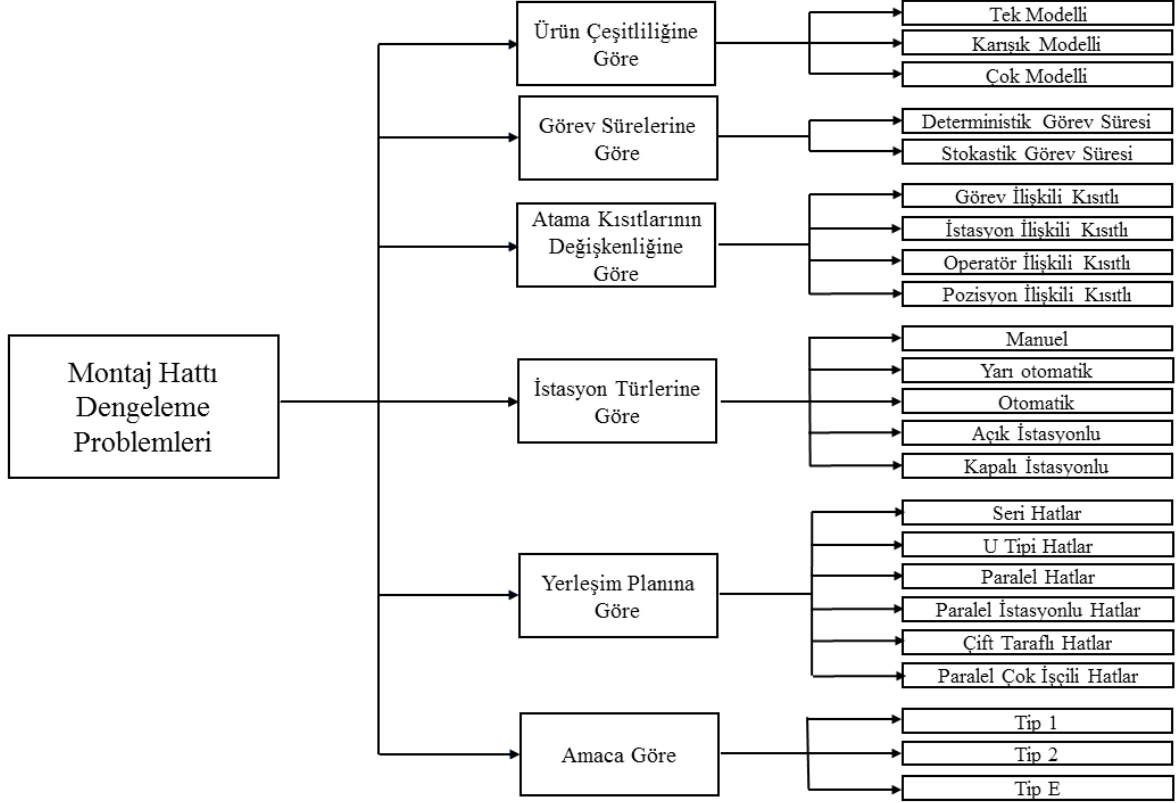
1.1.2. Montaj Hattı Kavramı

Montaj işlemi, son ürünü elde etmek için ürünü oluşturan tüm yarı mamul ve bileşenlerin birleştirilmesidir [5].

Montaj hatları genel olarak, malzemelerin bir hat boyunca ilerlediği ve bu akış sırasında insan gücü ile montajların yapıldığı bir sistemdir [6]. Montaj hatlarında, malzemeler sırası ile istasyonlar arasında taşıma ekipmanları veya insan gücü ile hareket ettirilir. Malzemelerin, her istasyonda bir işlem görmesi sağlanarak hat sonunda bitmiş ürünler elde edilir [7].

Montaj hatlarındaki istasyonların yerleşimi ve burada yapılacak olan işlemlerin belirlenmesi için, istasyonların çevrim süresi ve parçaların öncelik ilişkileri gibi kısıtlar dikkate alınır. İşlerin istasyonlara atanması sırasında, boş zamanları ve darboğazları önlemek için her istasyonun aynı veya benzer iş yüküne sahip olması istenir. Bu sebep ile montaj hatları dengelenmelidir. Montaj hattı dengeleme problemlerine baktığımızda birçok problem tipi ile karşılaşırız. Bu problem tiplerinin en yaygın olanları Şekil 1.1.'de verilmiştir.

Dengeleme için, yapılan işler arasında, bulunan öncelik ilişkilerinin sağlanması, her istasyonun iş yükünün belirlenmesi, çevrim sürelerinin aşılmaması ve toplam sürenin en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple ilk olarak, işlerin öncelik ilişkileri belirlenir ve çevrim süreleri hesaplanır [8].



Şekil 1.1. MHDP Türleri

1.1.3. Montaj Hattı Temel Kavramlar

Montaj hatlarında gerçekleşecek olan bütün işlemlere, *görev* adı verilir. Görevler, montaj işlemi boyunca gerçekleşecek olan bütün işlemleri kapsayan en küçük iş parçasıdır ve belirlenmiş olan istasyonlara göre dağıtılır [9].

Montaj hattındaki görevler için yapılan operasyonların, yani iş öğelerinin, gerçekleşmesi için gereken süreye *işlem süresi* denir.

Montaj hattında kullanılan temel kavramlar ve yardımcı ölçütler aşağıda verilmiştir:

İş Ögesi/Operasyon: Montaj işlemi süresince, işi yapan operatörler tarafından paylaşımı kolay olan ve gerçekleşmesi beklenen bütün görevler için, ayrıştırılamayan minimum iş parçasıdır [10].

İş İstasyonu: Montaj hattında bulunan, belli bir süre içerisinde gerçekleşmesinin zorunlu olduğu işlerin, görevlerin veya operasyonların yapıldığı çalışma alanlarıdır. İş istasyonunun büyüklüğü, öncelikli iş ilişkileri, gerçekleşmesi beklenen görevler, makine, donanım ve ekipman gibi faktörlere bağlıdır [11].

Toplam İş Süresi: Montaj hattı üzerinde üretimi gerçekleştirecek olan bir ürünün, montajının tamamlanması için, iş istasyonlarının ve operasyon sürelerinin toplamıdır [12].

$$TS = \sum_{i=1}^N t_i$$

N operasyon sayısı, t_i i. operasyonun işlem süresidir.

Çevrim Süresi: Montaj hattında bulunan bir ürünün, üretiminin gerçekleşmesi için, işlem göreceği istasyonlardaki en büyük süredir. Operatörün sabit çalışma süresi ise, iş istasyonunda bulunan görevleri yerine getirmesi için gereken en büyük süredir [13]. Çevrim süresi bazı durumlarda, istasyondaki bütün görevlerin gerçekleşmesine rağmen belirlenen zamanın altında olabilir. Bu durumlarda çevrim süreleri; üretken iş süreleri, üretken olmayan iş süreleri ve atıl süre olmak üzere üç grup altında incelenebilir [14].

$$C = \frac{T}{\dot{U}S}$$

C çevrim süresi, T toplam üretim süresi ve $\dot{U}S$ üretilmek istenen ürün sayısıdır.

Atıl Süre: Bir istasyonda yapılan işlemler sırasında, zamanın kullanılmayan kısmı yani atıl süre, çevrim süresi ile istasyon süresi arasındaki pozitif farka eşittir. Farkın negatif olması ise, istasyonlarda yapılan operasyonlarda işlerin aksamasına neden olmaktadır. İstenen durum, farkın az olması ile birlikte zamanın verimli kullanılmasını sağlamaktır.

Gereken En Az İş İstasyonu: Montaj hattında gerçekleşen iş öğelerinin, belirlenen çevrim sürelerini aşmaması ve bu iş öğelerine yeterli olabilecek en az sayıdaki istasyon sayılarına eşittir [15].

$$n_{enk} = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C} \right\rceil^+$$

n_{enk} minimum iş istasyonu sayısı, $[x]^+$; x 'e eşit ya da x 'ten büyük en küçük tam sayı değeridir.

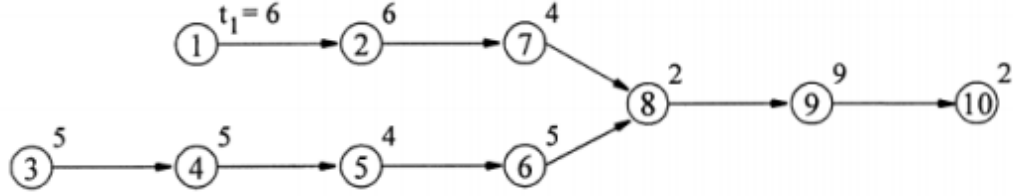
Toplam işlem sürelerinin, elde edilen çevrim süresi değerini aşması ve iş ögesi sayısının iki veya daha fazla olması durumunda, gerçekleşen işlemler aynı istasyona atanamaz. Bu durumda ataması yapılan işlemlerin gerçekleşebilmesi için gereken iş istasyonu sayısı aşağıdaki gibidir:

n_{olast} : Çevrim süresinin yarısından daha büyük süreye sahip olan iş ögesi sayısıdır.

Montaj hattının dengelenmesi için gereken en az iş istasyonu sayısı, bu iki değer en büyüğü olarak tanımlanır [16].

$$n_{enk}: n_{enb} (n_{enk}; n_{olast})$$

Teknolojik Öncelik Diyagramı: Montaj hattı sistemlerinde, bir ürünün üretilebilmesi için bulunan görevlerin hangi sıra ile uygulanacağı öncelik ilişkilerine göre belirlenir. Montaj hattında bulunan operasyonların gerçekleşebilmesi için, iş öğelerinin birbirleri ile etkileşim içerisinde olması ve bulunduğu operasyonlara göre birbirine bağımlı olması gerekmektedir. Öncelik diyagramında, etkileşim içerisinde olan iki iş ögesinin bağlantısı, bir ok vasıtası ile gösterilmektedir. Okun ucunda bulunan iş ögesi, diğer iş ögesine göre daha sonradan işleme tabii tutulur. Önceliği olan iş ögesine, öncül iş ögesi adı verilir. İş ögesini temsil eden semboller, düğüm adını almaktadır ve düğümlerin sağ üst kısmında bulunan değerler operasyon sürelerini göstermektedir [17]. Öncelik diyagramı örneği Şekil 1.2.'de verilmiştir.



Şekil 1.2. 10 İş Ögesi İçin Öncelik Diyagramı Örneği [18]

Öncelik Matrisi: Teknolojik öncelik diyagramını, üst üçgensel matris haline dönüştürerek elde edilen matrise, öncelik matrisi (Tablo 1.1.) adı verilir [19]. Birbiri arasında öncelik ilişkisi bulunan iş ögeleri için oluşturulan matriste, öncü olan operasyonun hemen bulunduğu satır ile artçıl operasyonun hemen bulunduğu sütunun kesiştiği hücreye “1”, diğer hücrelere ise “0” değeri yazılır.

Tablo 1.1. 10 İş Ögesi İçin Öncelik Matrisi Örneği

		ARTÇIL ÖĞELER									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ÖNCÜL ÖĞELER	1	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2		-	0	0	0	0	1	0	0	0
	3			-	1	0	0	0	0	0	0
	4				-	1	0	0	0	0	0
	5					-	1	0	0	0	0
	6						-	0	1	0	0
	7								1	0	0
	8								-	1	0
	9									-	1
	10										-

Esneklik Oranı: Montaj hattı problemlerinde, istasyonlar arasında bulunan önem ilişkilerinin sayısını gösteren ve bu problem süreçlerinde dengelenme boyutunu ifade eden orandır [20].

$$E = (2 * Y) / [N * (N - 1)]$$

E esneklik oranı ve Y öncelik matrisinde sıfır değerine sahip göz sayısıdır.

Denge Kaybı: İş ögelerinin, operatörlerin ve gerçekleşecek olan görevlerin, montaj hattındaki çevrim sürelerinin ve istasyonlar arasındaki süre dağılımının düzgün olmaması

durumudur. Genel olarak, sıfırdan büyük bir değer olarak kabul edilir ancak denge kaybının istenen hali, sıfır olma durumudur [21].

$$D (\%) = [(C - C^*) / C] * 100 = \left[\frac{(N * C - \sum_{i=1}^N t_i)}{(N * C)} \right] * 100$$

C çevrim süresi, C ortalama iş istasyonu süresi, N istasyon sayısı ve t_i i. operasyonun işlem süresidir.*

Düzgünlük İndeksi: Montaj hattı sistemlerinde gerçekleştirilecek olan operasyonlarda, işlem sürelerinin ve iş istasyonlarının istenilen düzeyde olma durumunu kontrol eder. Düzgünlük indeksinin küçük değere sahip olması, iyi bir hat dengelenmesinin sağlandığını gösterir [22].

$$Dİ (\%) = \left[\sqrt{\left(\sum (t_{enb} - t_i)^2 \right) / (n * C)} \right] * 100 \quad [n = 1, 2, 3 \dots, n]$$

Dİ düzgünlük indeksi, t_{enb} iş istasyonu sürelerinin en büyüğü ve t_i i. iş istasyonu süresidir.

Kuramsal Etkinlik: Montaj hattında gerekli iş istasyon sayılarının en aza indirildiği durumlarda, çevrim sürelerinin bir kısıt olarak kabul edildiği hatların dengelenmesi durumudur **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**[23].

$$KE (\%) = \left[\sum_{i=1}^N t_i / (n_{enaz} * C) \right] * 100$$

KE kuramsal etkinliği, N istasyon sayısı, t_i i. operasyonun işlem süresi, C çevrim süresi ve n_{enaz} en az iş istasyonu sayısıdır.

Hat etkinliği: Hat etkinliği, bir verimlilik ölçütüdür. Montaj hattındaki iş istasyonlarının görevleri ve bu görevler ile gerçekleşen operasyon sürelerinin toplamı olarak ifade edilir. İstasyon sürelerinin genel toplamı şeklinde de belirtilmektedir [24].

Montaj hattında kullanılan toplam işgücünün yüzdesi, hat etkinliği ile belirlenir.

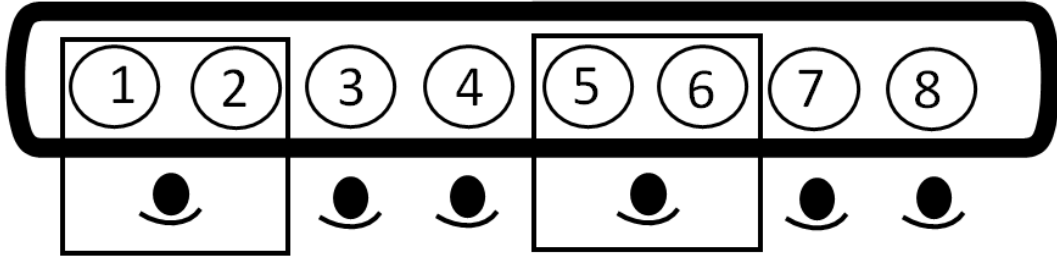
$$HE (\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N * C} * 100$$

HE hat etkinliği, N istasyon sayısı, t_i i. operasyonun işlem süresi ve C çevrim süresidir.

1.1.4. I Tipi Montaj Hatları

Ürünlerin parça üzerindeki işlemlerini, işletme içerisindeki sıralı iş istasyonlarında tamamlaması, iş gücüyle veya otomatik olarak taşınması I-tipi montaj hatları olarak tanımlanmaktadır. I-tipi montaj hattı örneği Şekil 1.3.'de verilmiştir. Seri durumdaki iş istasyonlarından oluşmasının yanı sıra istasyonlarda birden fazla makine veya işçi bulunabilir. Bu iş istasyonlarında işçiler genellikle birden fazla aletle donatılmıştır.

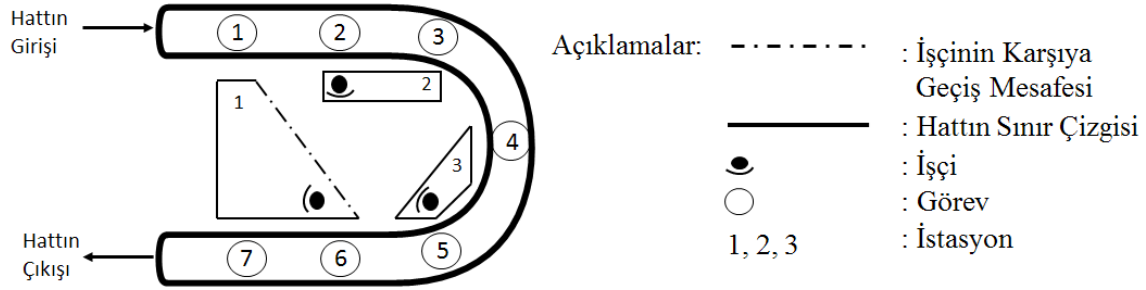
I-tipi montaj hatlarının tasarımındaki amaçlardan bir tanesi, bütün iş istasyonlarına eşit miktarda, iş yükü dağıtımını sağlamaktır. Bu denge sağlanamadığı takdirde, bazı iş istasyonlarında diğerlerine göre daha fazla iş yükü oluşmaktadır. Bunun sonucu olarak, verimlilikte düşüşler yaşanmakta ve bazı kayıplar meydana gelmektedir [25].



Şekil 1.3. I-tipi Montaj Hattı Örneği

1.1.5. U-Tipi Montaj Hatları

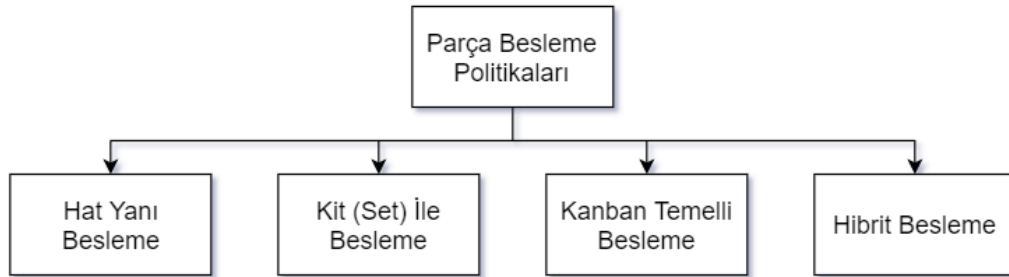
İstasyon arasındaki etkileşimi ve işçi hareketlerini kolay bir şekilde sağlar, üretimde esnekliği arttırmayı amaçlar. Özellikle tam zamanında üretim kullanan işletmeler, geleneksel montaj hatları yerine U-tipi montaj hatlarını tercih etmektedirler. U-tipi montaj hattında, hattın giriş kısmı ile çıkış kısmının bir arada olması nedeni ile hat içerisinde çalışan bir işçi hattın hem başlangıç hem de bitiş tarafındaki işleri bir arada görebilmektedir. Öncelik diyagramındaki bir işin, bir istasyona atanabilmesi için, o görevin bütün öncüllerinin kendinden önceki istasyonlara veya ardıllarının kendinden sonraki istasyonlara atanması gerekmektedir [26]. Bu hattın örnek gösterimi Şekil 1.4.'te verilmiştir.



Şekil 1.4. U-Tipi Montaj Hattı Örneği

1.2. HAT BESLEME

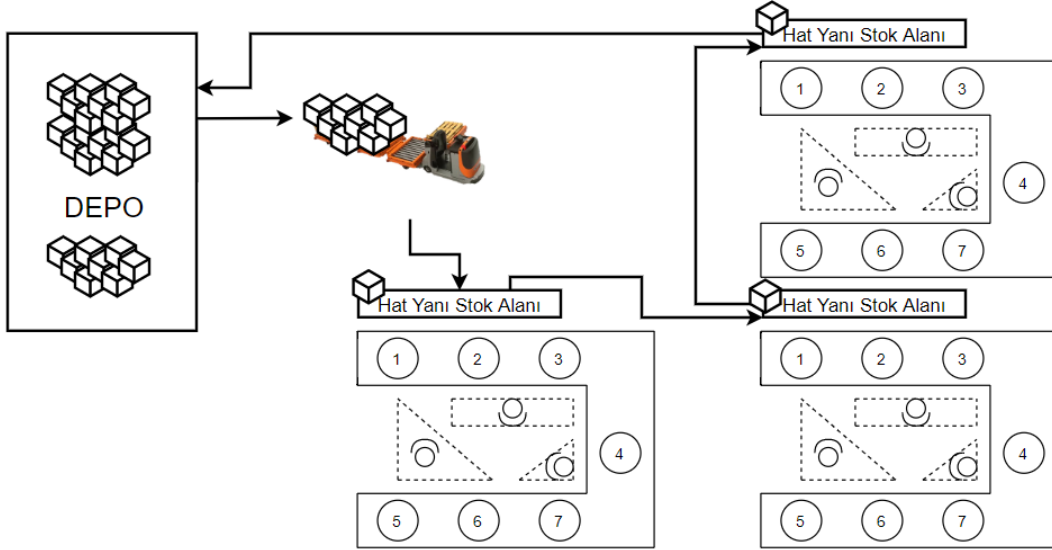
Montaj hattında kullanılacak parçaların, ana depodan alınıp üretim yapılacak noktaya götürülmesine, parça besleme denilmektedir. Montaj hattında uygulanan besleme politikası ile, parçaların gereken zamanlarda hatlara ulaşması ve toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır [27]. Parça besleme politikalarının en yaygın kullanılan çeşitleri Şekil 1.5.'te verildiği gibidir.



Şekil 1.5. Parça Besleme Politikaları

Hat yanı besleme, geçmişten günümüze gelen en eski hat besleme politikalarından biridir [28]. Hat yanı beslemede ürünler ana depodan alınarak, hatların yanındaki stok alanlarına taşınır. İşçiler parçaya ihtiyaç duyduklarında, ana depoya yürümek yerine parçaları bu depolardan temin ederler. Hat yanı besleme politikasının en büyük avantajlarından biri, hatların yanında sürekli malzeme bulunmasıdır.

Bu besleme tek parça olarak veya küçük bir kutunun içindeki birçok parçadan oluşabilir. Genellikle bk parçalar için tek parça besleme tercih edilir ve bunların taşınmasında forklift gibi taşınma araçları kullanılır. Kk parçaların beslemesinde ise kutular içerisinde birçok parça bulunur ve taşıma işlemi için tugger train kullanılır [29]. Hat yanı beslemenin şekilsel gösterimi şekil 1.6.'da verilmiştir.



şekil 1.6. Hat Yanı Besleme

1.3. ELE ALINAN SİSTEMİN TANIMI

1.3.1. Firmanın Sektörü ile İlgili Bilgiler

Günümüzde artan konut ihtiyaı ve buna istinaden yürütülen konut yapımı, asansör imalatını da hızlandırmıştır. Son yıllarda kentsel dönüşüm projelerinin de hayata geçirilmesi ile birlikte, sektörde önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Ülkemizde asansör sektörü; aksam imalatı, asansörün tesis edilmesi (montaj) ile bakım ve onarım olarak üç ana kolda faaliyet göstermektedir.

Aksam imalatı, tamamen makine imalatının bir uzmanlık alanı olarak değerlendirilmektedir. Montaj işleri, mühendislik ve mteahhithlik hizmetlerini kapsamakta olup; çeşitli fabrikalarda üretilen aksamlar kullanılarak asansörün monte edilmesi sürecinin

gerçekleştirilmesidir. Son yıllarda, yurtdışında montaj, paket asansör satışı gibi alanlarda da Türk firmalarının çalışmalarının attığı görülmektedir.

Sanayi Sicil Kanunu kapsamında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, sanayi sicil kayıtlarında yer alan ve yıllık işletme cetveli veren 1.967 adet asansör montaj ve asansör aksam imalat firmasından hareketle, sektöre ilişkin kapasite kullanım oranı (KKO) ortalama olarak % 60 seviyesinde gerçekleşmiştir.

2018 yılı ihracat ve ithalat rakamlarına bakıldığında; 2018 yılı için dış ticaret hacmi toplamda 312 milyon (\$) seviyesinde gerçekleşmiştir. Türk asansör sektörünün faaliyet alanı dikkate alındığında, üretilen binaya göre yıllık montaj sayısı, belgelendirme hizmetleri, periyodik kontrol hizmetleri, aksam üretimi, bakım ve servis hizmetleri genelinde yaklaşık 1-1,5 Milyar (\$) seviyelerinde bir ciroya sahip olduğu düşünülmektedir. [URL-1]

1.3.2. İşletme Hakkında Genel Bilgiler

Tablo 1.2. İşletme Tanıtım Kartı

İŞLETME TANITIM KARTI					
İsmi	HKS HAS ASANSÖR KAÜÇUK PLASTİK METAL SAN. TİC. A.Ş.				
Yeri	Kale, Ankara Yolu Cd. 13. Km D:No:77, 16450 Ahmet Vefik Paşa OSB / Kestel / Bursa				
Kuruluş Tarihi	1980				
Sektör	Asansör ve Metal Sanayi				
Toplam Alan (m²)	17000	Açık Alan	500	Kapalı Alan	16500
Toplam Çalışan Sayısı	160	Beyaz Yaka	45	Mavi Yaka	115
		Endüstri Mühendisi			4



Şekil 1.3. İşletme Görünümü

1980 yılında küçük bir atölyede imalata başlayan Has Asansör, asansör sektörüne hizmet vermenin ilk basamaklarını kauçuk ve plastik parçalar üreterek atmıştır.

1987 yılında tasarımı yapılarak üretimine başlanan yaylı ve kauçuk tamponlar ile birlikte, kauçuk ve plastik parçalarda lider konumuna gelen Has Asansör, 1992 yılında paket asansör malzemeleri pazarlama amacı ile HASPAR Pazarlama Ticaret firmasını kurmuştur.

1994 yılında kabin ve kabin karkasını da üretimine ilave eden Has Asansör, kısa zamanda üretim kapasitesi ve kalitesini artırarak sektöründe söz sahibi olmayı başarmıştır.

1997 yılında ilk fabrikasına geçiş yapan Has Asansör, 5200 m² kapalı, toplamda 7200 m² çalışma sahasına sahip olmuştur.

2000 yılında ihracat departmanı kurarak, yurtdışında da hizmet vermeye başlayan Has Asansör, 63 ülkeye ihracat gerçekleştirerek büyük bir başarıya imza atmıştır. Günümüzde ISO 9001 Yönetim Sistemleri, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi ve ISO 18001 OHSAS İş Sağlığı ve Güvenliği gibi alanlarda sertifika sahibi olan Has Asansör, bu konudaki samimiyetini mecburiyetinin önünde tutmuştur.

2004 yılında teknolojik işletme yatırımlarına hız veren Has Asansör, Punch, Laser, Robotlu Makas, Robotlu Abkant, Entegre ESB toz boya tesis yatırımları ile birlikte, 2015 yılında alınan Prima Power PSBB sac işleme makinesi ile sektördeki yerini sağlamlaştırmıştır. Has Asansör, yükselen gelişmesini insana verdiği değer, eğitime gösterdiği önem ve işine verdiği özenle hedeflemektedir.

2008 yılında bu sorumluluk bilinciyle Has Asansör, sektörde çalışacak kalifiye eleman açığının kapatılması için Has Asansör Endüstri Teknik Meslek Lisesi'nin temelini atmıştır. Has Asansör, ilk mezunlarını veren lisenin öğrencileriyle haklı bir gururu yaşamaktadır.

2011 yılında ikinci fabrika inşaatına başlayarak, toplam üretim alanını 17000 m² alana çıkaran Has Asansör, modern bir fabrikaya kavuşmuştur. Bu yeni işletme inşaatı ile birlikte, seyir mesafesi 36 metre olan, 2 adet asansör kulesi inşaatı da tamamlanarak hizmete sunulmuştur.

2016 yılında ülkemizin 307. Ar-Ge Merkezi olma unvanını almıştır. [URL-2]

1.3.3. İşletmenin Üretim Kapasitesi

Fabrika tam kapasite ile çalışmaktadır. Gelişmeye ve kapasitesini artırmaya yönelik çalışmaları devam etmektedir. 63'den fazla ülkeye ihracat kapasitesi ile ayda 6000 adet yarı otomatik kapı, 2500 adet tam otomatik kapı, 180 adet asansör kabini ve süspansiyonu, 200 adet kumanda panosu ve 15 adet hidrolik konsol ünitesi üretim kapasitesi ile müşterilerine hizmet vermeye devam etmektedir.

1.3.4. İşletmede Üretilen Ürünler

İşletme, komple paket asansör ve asansör bileşenlerinden oluşan 8 ana ürün grubuna sahiptir. Bunlar;

Asansör Kapıları

- Yarı Otomatik Kapılar
- Yarı Otomatik Ferforje Kat Kapıları
- Katlanır Kabin Kapısı
- Otomatik Kat Kapıları
- Otomatik Cam Kat Kapısı
- Otomatik Dekoratif Cam Kat Kapısı

Asansör Kabinleri

Asansör Sistemleri

- Asansör Çözümleri
- Hidrolik Sistemler

Asansör Butonları

Asansör Komponentleri

- Denge Zinciri
- Halat Grubu
- Elektronik Grup
- Kapı Kilitleri
- Mekanik Frenler
- Plastik Komponentleri
- Ray ve Ekipmanları
- Tamponlar

Kumanda Panoları

Makine Motorları

- Makina Motoru Dişli
- Makina Motoru Dişsiz

Komple Paket Asansör

1.4. PROBLEMİN TESPİTİ

Bir montaj hattı, belirli sayıda sıralı iş istasyonlarından ve bu iş istasyonlarından sorumlu işçilerden oluşmaktadır. Montaj hattında üretilen ürünler, ürün akış diyagramına göre, belirli bir sırayla istasyonlar arasında hareket etmektedir [30]. Bu sırada, her iş istasyonunun iş yükü birbirine olabildiğince yakın olmalıdır. İş istasyonları arasındaki bu akışın verimliliğini arttırabilmek için, montaj hatlarında dengeleme ve besleme kavramları uygulanmaktadır.

Montaj hattı dengeleme problemlerinde en yaygın olarak I-tipi ve U-tipi montaj hatları kullanılmaktadır. Fakat U-tipi montaj hatlarında I-tipi montaj hatlarına göre, üretim sistemlerinin verimliliklerini daha yüksek oranda kullanabilmeleri ve üretimde işletmeye katma değeri olmayan işlerin önüne daha kolay geçilmesi sağlanır. Verimlilik oranlarının artış göstermesi için montaj hatlarında dengelemeyle birlikte besleme konusunun da ele alınması büyük bir önem taşımaktadır. Montaj hattında besleme kavramı, üretimde kullanılacak parçaların gerekli istasyonlara, doğru zamanda ve doğru miktarlarda teslim edilmesini ifade etmektedir. Montaj hattında dengeleme ve besleme konuları birlikte uygulandığı takdirde, parçaların gereken zamanda, gereken yerde, en düşük maliyetli şekilde üretilmesi sağlanacaktır. Bunun için montaj hattı dengelemesi yapıldıktan sonra, uygun hat besleme yöntemi seçilerek üretim süreçlerinin yönetilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu projede amacımız, karma model U-tipi montaj hattı ve hat besleme konularını birleştiren sistem bilim önerisiyle işletmelerin verimliliğini arttırmaktır.

Bu amaca yönelik hedeflerimiz;

- Mevcut durumun analizinin yapılması.
- Mevcut modelin U-tipi montaj hattı modeline uyarlanması.
- Ürün çeşitliliği artırmak amacıyla elde edilen modelin karma model ile birleştirilmesi.
- Montaj hattı üzerinde tespit edilen dar boğaz istasyonun iyileştirilmesi.
- Üretim hattında tek parça ürün akışının sağlanması.
- Firma içerisinde yeni makinalar için yeterli alan kapasitesinin oluşturulması.
- Firma içerisindeki atıl zamanların hesaplanması.
- Montaj hattındaki istasyonların çevrim sürelerinin dengelenmesi.
- İş istasyonlarına, işçilerin performanslarına göre atamalarının yapılması.

- Malzeme besleme problemi için, çevrim zamanlarının eş zamanlı olarak planlanması.
- Çevrim süresinin modele etkilerinin araştırılması için senaryo analizi yapılması.

Kullanılan veriler, Has Asansör firmasında bulunan 3 farklı montaj hattının ölçümlerinden elde edilmiştir. Bu verilerin elde edilmesinde sistematik ve bilimsel bir yol olan iş etüdü yöntemi kullanılmıştır.

Firmanın ana problemi, I-tipi montaj hatları kullanması ve tek parça ürün akışını sağlayamamasıdır. Bu durum, hatlar arasında ara stok oluşumuna ve darboğaza neden olmaktadır. Ayrıca hatların esnek olmamasından dolayı, firma talepteki ani değişimlere ve beklenmeyen sorunlara hızlı bir şekilde cevap verememektedir.

İşçilerin, her birinin işlere göre yetenekleri değişkendir. Bu yüzden işçi atamaları yeteneklere göre yapılmalıdır. Ancak firmada çalışan işçiler istasyonlara rastgele bir şekilde atanmaktadır ve bir istasyonda birden fazla işçi bulunmaktadır. İşçiler, bütün istasyonlarda görev almadıkları ve farklı istasyonlarda yeterli zaman geçirmediikleri için, firmanın genel işleyişi ve ürün akışı hakkında detaylı bilgiye sahip değildirler.

Firmada, 10 ayrı montaj hattı bulunmaktadır. Her bir montaj hattında, tek bir asansör parçası üretilmektedir. Parçalar büyük boyutlu olmakta ve taşıma işlemi forklift ile yapılmaktadır. Ancak forklift, büyük parçaların taşınmasında güvenlik ve kapasite özellikleri açısından uygun bir araç değildir. Bu sebepten dolayı hat beslemesinde tugger tren gibi taşıtlar kullanılmalıdır. Bunun yanı sıra besleme, hattın çevrim süresine entegre edilmediği için hattın yavaşlamasına, darboğazlar oluşmasına ve üretim süresinin artmasına sebep olmaktadır [31]. Firmaya katma değer sağlamayan işler ve firma içi atıl zamanlar saptanamamaktadır.

Firmanın yaşadığını dile getirdiği en büyük sorunlardan bir tanesi, yeterli alanın bulunmamasıdır. Alanın kısıtlı olması sebebi ile, yeni makine alımı gerçekleşmemektedir. Makine eksikliği sebebi ile, işçiler normalden daha uzun süre çalışmak zorunda kalmakta ve günde 9 saat çalışarak fazla mesai yapmaktadırlar. Bunun yanı sıra cumartesi günleri de üretim devam etmektedir. Böylece mesai sürelerinin optimum şekilde kullanılması engellenmektedir.

Tüm bu sorunlar, firmanın potansiyel kapasitesini kullanmasına engel olmakta ve firma içi verimliliğin düşmesine sebep olmaktadır. Uygulama yaptığımız firmadaki sorunlar, montaj

hattı bulunan birçok firmada sık karşılaşılan sorunlardır. Önerdiğimiz optimizasyon modeli, farklı verilerin girişi ile tüm firmalarda kullanılmaya elverişli olacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Montaj Hattı Dengeleme problemi, ilk defa Helgeson (1954) tarafından çalışılmıştır ve ilk defa Salvesson (1955) tarafından matematiksel olarak ifade edilmiştir. [32].

Bozer ve McGinnis (1992), montaj hattı besleme için kit ile besleme ve hat yanı stok ile besleme politikalarını karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca malzeme taşıma, alan gereksinimleri, kit ve hat yanı stok ile besleme politikaları arasındaki değişimleri ölçmek için kullanılabilecek tanımlayıcı bir model geliştirilmiştir. Çalışmada sayısal bir örnek, geliştirilen model ile çözülmüştür [33].

Kim ve ark. (1996), basit montaj hattı dengeleme problemi için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Problem; iş istasyonu sayısının minimize edilmesi, çevrim süresinin minimize edilmesi, iş yükü dengesinin maksimizasyonu ve iş ilişkiseliklerinin maksimize edilmesini kapsayan çok amaçlı bir problemdir. Önerilen genetik algoritmada tek noktalı çaprazlama yöntemini kullanılmıştır. Kullanılan çaprazlama yönteminin performanslarını genetik algoritmada kullanılan diğer çaprazlama yöntemleri ile karşılaştırmış ve genetik algoritmanın tek noktalı çaprazlama yöntemi ile daha iyi performans gösterdiği sonucu elde edilmiştir [34].

Timothy L. Urban (1998) tek modelli deterministik görev zamanlı U-tipi MHDP için, tamsayılı programlama yaklaşımı önermiştir. Önerilen yaklaşımın sonuçlarını, maksimum pozisyon ağırlığı metodunun sonuçları ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma yapmak için, görev sayısı 21 ile 45 arasında değişen toplam 25 adet problem kullanmıştır. Tamsayılı programlama metodu ile bu 25 problemten bir tanesi için, çözüm süresinin bir saati aşmış ancak diğer 24 tanesi kısa sürede içerisinde çözülmüştür [35].

Ajenblit ve Wainwright (1998), tek modelli deterministik görev zamanlı U-tipi MHDP için, bir genetik algoritma yaklaşımı önermişler. Bu yaklaşımı diğer sezgisel yaklaşımlarla karşılaştırmak ve çözümlerin optimale yakınlığını ölçmek için 61 farklı problem ile test etmişlerdir. Genetik algoritma, 61 problemin 21'inde optimal sonuçlara ulaşmış, diğer

problemlerde ise karşılaştırma yapılan diğer sezgisel yaklaşımlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir [36].

Matanachai ve Yano (2001), karma modellenli montaj hatları için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu olarak, minimum iş yükünün elde edilmesi ele alınmıştır. Ürünlere ait modellerin her biri için, ortak öncelik diyagramları kullanılmıştır. Çalışmada, işlem sürelerinin deterministik olduğu varsayılmıştır ve modelin çözümü sezgisel bir yaklaşımla elde edilmiştir [37].

Miltenburg (2002) tarafından yapılan çalışmada, U şeklindeki karma modellenli montaj hatlarını dengelemek ve çizelgelemeye çalışmıştır. Modellerde ortak öncelik diyagramı ve deterministik işlem süreleri kullanılmıştır. Çözümde genetik algoritma kullanılmıştır ve 128 örnek problemi, 7 farklı kritere göre çözümlenerek sonuçlar incelenmiştir [38].

Hopp ve ark. (2004), seri üretim sistemlerinde çapraz eğitilmiş işçilerin faydaları üzerine çalışmıştır. Yüksek yetenekli işçilerin boş vakitlerini, düşük yetenekli işçilerin yarattığı darboğazları kapatmakta kullanması ile verimliliğin artırılması sağlanmıştır. Bu sayede hattaki dengesizlik de azaltılmıştır [39].

Aase ve ark. (2004), U-tipi montaj hatlarının işçi verimliliğine etkilerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre; işçi verimliliğinin U-tipi montaj hatlarında, geleneksel düz montaj hatlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir [40].

Keskinürk ve Küçük (2006), karışık modellenli montaj hatlarında çözüme genetik algoritma ile ulaşmayı hedeflemiştir. Kullanılan uygunluk fonksiyonu, atıl süreleri minimize etmeyi ve gerekli öncelik kısıtlarını sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Yöntem, 106 görevli karışık modellenli bir montaj hattında uygulanmıştır [41].

Song ve ark. (2006), operatör verimliliğini göz önüne alan bir montaj hattı dengeleme problemi için, yeni bir sezgisel metot geliştirilmiştir. Görev sürelerinin stokastik olduğu ve tüm işçilerin farklı işler için farklı seviyelerde yetenekli olduğu varsayılmıştır. Çalışmada, işçi verimliliğindeki değişkenlikleri minimize etme, hat verimini maksimize etme ve verimlilik kaybını minimize etmek olmak üzere çok amaçlı bir model kurulmuştur. Geliştirilen sezgisel metot beş ayrı vaka için test edilmiştir [42].

Toksari, Isleyen, Guner, and Baykoc (2008) U-tipi MHD problemlerinde öğrenme etkisini de ele aldıkları bir analitik yaklaşım önermişlerdir. Yaklaşımın amacını, iş istasyonlarını ve işçi sayısını minimize etmek olarak belirlemişlerdir. Çalışmada tüm çalışanların, aynı öğrenme etkisinden etkilendiği varsayılmıştır [43].

Hwang ve Katayama (2009), karma modellenli U-tipi montaj hatlarının dengelenmesi için çok kararlı genetik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Geliştirilen yaklaşım ile 19, 61 ve 111 görev içeren üç farklı problem çözülerek test edilmiştir [44].

Satoglu ve Şahin (2012), periyodik montaj hattı dengeleme için sezgisel bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Modelin amacı, stok seviyesinin ve stok tutma maliyetlerinin minimize edilmesi olarak belirlenmiştir. Modelin çözümü servis sürelerini ve araç rotalarını vermektedir [45].

Hanson ve Brolin (2013), hat yanı stoklama ve kit yapma, parça besleme süreçlerini, esneklik, ürün kalitesi, envanter seviyesi ve alan gereksinimi gibi parametreler üzerinden karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada, otomotiv montaj hatlarına ait iki örnek uygulamaya ait veriler kullanılmıştır [46].

Oksuz and Satoglu (2014), U-tipi montaj hatlarının dengelenmesinde, insan faktörünü göz önünde bulunduran bir çalışma yapmışlardır. Modellerinde çalışanlar için 4 farklı yetenek seviyesi ele alınmıştır ve çözüm için sezgisel bir algoritma önermişlerdir [47].

Otto and Otto (2014), basit montaj hattı dengeleme problemlerinde, öğrenme etkisini ele alan bir sezgisel çözüm önermişlerdir. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak her çalışanın farklı öğrenme eğrisine sahip olduğu düşünülmüştür. Çözümde, eş zamanlı olarak görevlerin istasyonlara ve işçilerin istasyonlara atanması gerçekleştirilmiştir [48].

Venkatesh ve ark. (2014), U-tipi montaj hatlarının dengelenmesi için, aynı anda hem çevrim süresi hem de iş istasyonu sayısını birlikte minimize eden basit bir genetik algoritma oluşturmuşlardır. Çalışmada, önerilen algoritma ile 11, 21, 28, 30, 45 ve 70 istasyona sahip 5 adet problem çözdürülmüştür [49].

Caputo ve diğ. (2015), kit ile hat besleme yöntemi için, kaynakların boyutlandırılmasını sağlayan bir matematiksel model üzerine çalışmışlardır [50].

Kılıç ve Durmuşoğlu (2015), hat besleme yöntemlerinin bir literatür araştırmasını yapmıştır. Yalın üretim temelli montaj hatları için, hibrit bir hat besleme politikası geliştirmişlerdir [51].

Nakade (2016), kovalama düzeninde çalışan işçilere sahip U-tipi montaj hatlarının dengelenmesinde, işçi sıralamasının çevrim süresine etkilerini inceleyen bir çalışma yapmıştır [52].

Caputo ve diğ. (2018), hat besleme politikalarının seçimi için parça özelliklerinin ve parçaların istasyonlara tesliminde ortaya çıkan toplam maliyetlerini göz önüne alan senaryo bazlı bir çalışma yapmışlardır. Tüm maliyetleri saptadıktan sonra, hat besleme politikalarını karşılaştırmak üzere duyarlılık analizleri yapmıştır [53].

Kadir Büyüközkan (2018), karma modellenli montaj hattında, ihtiyaç duyulan malzemelerin, depodan istasyonlara taşınmasını ele alınmıştır. Firmada yalın lojistik yöntemlerden biri olan milk-run ile malzemelerin tedariği gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda birden fazla araçlı, birbirinden farklı güzergahlarda hizmet edebildiği fazla parça dağıtımının gerçekleştirildiği milk-run rotalarının ve çevrim sürelerinin eş zamanlı olarak belirtilmesi için, modeller geliştirilmiştir. Bu sebeple ele alınan problemin çözümü için, meta-sezgisel bir yöntem olan Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılmıştır [54].

Zhang ve diğ. (2019), karma modellenli U-tipi montaj hatlarının dengelenmesinde, hibrit bir genetik algoritma önermişlerdir. Aynı zamanda bilinmeyen görev sürelerinin üretim verimine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucu önerilen genetik algoritmanın büyük boyutlu problemlerde dahi etkili olduğunu göstermiştir [55].

Yazarların bilgisi dahilinde, literatürde U-tipi montaj hatlarının dengelenmesi, karma modellenli montaj hatları, performansa göre işçi atama ve hat besleme konularının birlikte incelendiği çalışma sayısı oldukça azdır. Bu araştırma, bahsedilen 4 konuyu bir arada incelediği için literatüre katkıda bulunacaktır.

Tablo 2.1. Literatür

Sıra	Yazarlar	Çalışmanın Adı	Yıl	Genel Bilgi	Kullanılan Yöntem
[32]	Salveson, M.E.	The Assembly Line Balancing Problem	1955	Montaj hattı dengeleme probleminin ilk çalışması ve modelinin kurulması	Matematiksel Model
[33]	Bozer, Y.A. , McGinnis, L.F.	Kitting Versus Line Stocking: A Conceptual Framework And A Descriptive Model	1992	Montaj hattı besleme için kit ile besleme hat yanı stok ile besleme politikalarını karşılaştırır.	Matematiksel Model
[34]	Kim YK, Kim YJU, Kim Y	Genetic Algorithms For Assembly Line Balancing With Various Objectives	1996	İş istasyonunu ve çevrim süresini minimize etmek ve iş yükü dengesinin maksime etmek amaçlanmıştır.	Genetik Algoritma
[35]	Urban, T.L.	Optimal Balancing Of U-Shaped Assembly Lines	1998	Deterministik görev zamanı tek model için U tipi MHD problemi önerilmiştir.	Tam Sayılı Programlama
[36]	Ajenblit, D.A., Wainwright R.L.	Applying Genetic Algorithms To The U-Shaped Assembly Line Balancing Problem	1998	Deterministik görev zamanı tek model için U tipi MHD problemi önerilmiştir	Genetik Algoritma
[37]	Matanachai S. ,Yano C.A.	Balancing Mixed-Model Assembly Lines To Reduce Work Overload	2001	Karma model montaj hatları için minimum iş yükü elde edilmesi amaçlanmıştır.	Sezgisel Yaklaşım
[38]	Miltenburg J.	Balancing And Scheduling Mixed-Model U-Shaped Production Lines	2002	U şeklindeki karma modelli montaj hatlarını dengelemek ve çizelgeleme çalışılmıştır.	Genetik Algoritma
[39]	Hopp W.J., Tekin E., Oyen M.P.V.	Benefits Of Skill Chaining In Serial Production Lines With Cross-Trained Workers	2004	Seri üretim sistemlerinde çapraz eğitilmiş işçilerin faydaları üzerine çalışılmıştır.	CONWIP
[40]	Aase, G.R., John, R.O., Marc J.S.	U-Shaped Assembly Line Layouts And Their Impact On Labor Productivity: An Experimental Study	2004	U tipi montaj hatlarının işçi verimliliği üzerine etkileri incelenmiştir.	Tam Sayılı Programlama

[41]	Keskintürk T., Küçük B.	Karışık Modelli Montaj Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Dengelenmesi	2006	Karışık modelli montaj hatlarında atıl süreleri en küçüklenmiştir.	Genetik Algoritma
[42]	Song B.L., Wong W.K., Fan J.T., Chan S.F.	A Recursive Operator Allocation Approach For Assembly Line-Balancing Optimization Problem With The Consideration Of Operator Efficiency	2006	İşçi verimliliğini yetenek seviyelerine göre montaj hattı dengeleme problemi kurulmuştur.	Sezgisel Yöntem
[43]	Toksari, M. D., Isleyen, S. K., Guner, E., Baykoc, O. F.	Simple And U-Type Assembly Line Balancing Problems With A Learning Effect	2008	U tipi MHD problemlerinde öğrenme yetkisi ele alınmıştır.	Sezgisel Yöntem
[44]	Hwang R. ve Katayama H.	A Multi-Decision Genetic Approach For Workload Balancing Of Mixed-Model U-Shaped Assembly Line Systems	2009	Karma modelli U tipi MHD problemi ele alınmıştır.	Genetik Algoritma
[45]] Satoğlu, S. I. ,Şahin I. E.	Design Of A Just-In-Time Periodic Material Supply System For The Assembly Lines And An Application In Electronics Industry	2012	Periyodik MHD için Stok seviyesini, stok tutma maliyetini minimize edilmesi amaçlanmıştır.	Sezgisel Yöntem
[46]	Hanson, R. ve Brolin, A	A Comparison Of Kitting And Continuous Supply In In-Plant Materials Supply	2013	Otomotiv montaj hatlarında hat yanı stoklama ve kit parça besleme politikası kullanılmıştır.	Vaka Analizi
[47]	Oksuz, M. K., Satoglu, S. I.	Balancing U-Shaped Assembly Lines By Considering Human Factors.	2014	İnsan faktörü göz önünde bulundurularak U tipi montaj hattı dengelenmiştir.	Sezgisel Algoritma
[48]	Otto, C., Otto, A.	Extending Assembly Line Balancing Problem By Incorporating Learning Effects	2014	Öğrenme yetkisi ele alınarak MHD problemi ele alınmıştır.	Sezgisel Algoritma

[49]	Venkatesh, Jonnalagedda, Balaji, Dabade	Application Of Simple Genetic Algorithm To U-Shaped Assembly Line Balancing Problem Of Type II	2014	Hem çevrim süresi hem iş istasyonu minimize edilerek MHD çalışılmıştır.	Genetik Algoritma
[50]	Caputo, A.C., Pelagagge, P.M. ve Salini, P.	A Model For Kitting Operations Planning, Assembly Automation	2015	Kit ile hat besleme yöntemi matematiksel modeli geliştirilmiştir.	Matematiksel Model
[51]	Kılıç, H.S., Durmuşoğlu, M.B.	Kılıç, H.S., Durmuşoğlu, M.B. (2012) Design Of Kitting System In Lean-Based Assembly Lines	2012	Yalın üretim temelli montaj hatlar için hibrit bir hat besleme politikası incelenmiştir.	Karışık Tam Sayılı Lineer Programlama Modeli
[52]	Nakade, K.	Effect Of Worker Sequence On Cycle Time In A U-Shaped Line With Chase Model	2016	İşçi sıralamasının U tipi MHD etkileri incelenmiştir.	-
[53]	Caputo ve diğ.	Selection Of Assembly Lines Feeding Policies Based On Parts Features And Scenario Conditions	2018	Hat besleme politikalarının seçimi için senaryo bazlı bir çalışma yapmışlardır.	-
[54]	Kadir Büyüközkan	Karma Modelli Montaj Hatlarına Yönelik Döngüsel Malzeme Besleme Sistemi Optimizasyonu	2018	Karma modellenli montaj hattı için ihtiyaç duyulan malzemelerin depodan alınarak çok araçlı istasyon beslemesi ele alınmıştır.	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
[55]	Jia-Hua Zhang, Ai-Ping Li, Xue-Mei Liu	Hybrid Genetic Algorithm For A Type-II Robust Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem With Interval Task Times	2019	Belirsiz görev süreleri altında karma modellenli MHD problemi ele alınmıştır.	Hibrit Genetik Algoritma

3. OPTİMİZASYON MODELİ

Ortak çalışma yapılan firmadan montaj hattı verileri sağlanmıştır. Bu verilerin elde edilmesinde sistematik ve bilimsel bir yol olan iş etüdü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem gereksiz faaliyetlerden kurtulmak, uygun çalışma yöntemlerini standartlaştırmak, iş ile ilgili makine ve insan sürelerini standart ve doğru bir şekilde belirlememizi sağlayan bir yöntemdir [56].

Sunulan optimizasyon modeli, karma model U-tipi montaj hattı dengeleme problemlerinin matematiksel formülüne dayanmaktadır. Firmadan elde edilen veriler, modele entegre edilerek firmanın sorunlarına özel bir problem oluşturulmuştur. Bu problem GAMS paket programında çözüme kavuşturulmuştur.

Kurulan optimizasyon modelinin test edilebilmesi için öncelik ilişkilerine, işlem sürelerine ve ürün özelliklerine bakılması gerekmektedir. Burada, işgücü planlamasının gerçekleştirilmesinde önemli bir rolü vardır.

Önerilen karma modellenin U-tipi montaj hattı dengeleme ve hat besleme optimizasyon modeli ile istasyon sayısı minimize edilmiştir. Aynı zamanda, depodan süpermarkete gönderilecek ürün miktarları da minimize edilerek hat verimliliği artırılmıştır.

Modelin varsayımları;

- Tüm girdi parametreleri kesinlikle bilinmektedir.
- İşçilerin yürüme süresi önemsizdir.
- Bir iş ögesi, iki veya daha fazla iş istasyonu arasında paylaştırılmaz.
- Tüm iş ögeleri gerçekleştirilmelidir.
- Bir görev yalnızca bir işçiye atanabilir.
- Bir çalışan birden fazla istasyona atanamaz.
- Hat beslemesi yapılırken tek araç kullanılmaktadır.

Önerilen modelin notasyonları aşağıdaki gibidir:

i, r, s : İş Ögesi

j : İstasyon

w : İşçi

N : Toplam İş Sayısı

m_{max} : Maksimum İstasyon Sayısı

T_w : Toplam İşçi Sayısı

l	: Çevrim Sayısı	L	: Aracın Maksimum Çevrim Sayısı
t_i	: i. İş Öğesinin Standart İşlem Süresi	KV	: Araç Kapasitesi m^3
C	: Çevrim Süresi	KU	: Malzeme Hacmi m^3
S	: Öncelik İlişkilerinin Kümesi	KSV	: Süpermarket Hacmi m^3
P_{iw}	: w. İşçinin i. İşteki Performans Katsayısı	$w1$: Amaç Fonksiyonu Ağırlığı
W_j	: j. İş İstasyonuna Atanabilecek İş Öğelerinin Kümesi	$ W_j $: W_j Kümesinin Eleman Sayısı

$(r, s) \in S$: Bir Öncelik İlişkisi r Görevi, s Görevinin Komşu Öncülü

Karar Değişkenleri

$$\begin{aligned}
 x_{ij} &= \begin{cases} 1, & i \text{ iş ögesi } k \text{ istasyonunun ön tarafına atanmışsa,} \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \\
 y_{ij} &= \begin{cases} 1, & i \text{ iş ögesi } k \text{ istasyonunun arka tarafına atanmışsa,} \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \\
 z_j &= \begin{cases} 1, & k \text{ iş istasyonuna en az bir iş ögesi atanmışsa,} \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \\
 A_{jw} &= \begin{cases} 1, & k \text{ iş istasyonuna en az bir iş ögesi atanmışsa,} \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \\
 k_{ij} &= \begin{cases} 1, & k \text{ iş istasyonuna en az bir iş ögesi atanmışsa,} \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \\
 S_{ijw} &= \begin{cases} 1, & k \text{ iş istasyonuna en az bir iş ögesi atanmışsa,} \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Amaç Fonksiyonu

$$Enk Z = \sum_{j=1}^{m_{max}} Z_j + w1 * \sum_{l=1}^L q_l \quad (1)$$

Atama Kısıtı

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (x_{ij} + y_{ij}) = 1 \quad \forall(i) \in S \quad (2)$$

Öncelik Kısıtı

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (m_{max} - j + 1)(x_{rj} - x_{sj}) \geq 0 \quad \forall (r, s) \in S \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (m_{max} - j + 1)(y_{rj} - y_{sj}) \geq 0 \quad \forall (r, s) \in S \quad (4)$$

Çevrim Süresi Kısıtı

$$\sum_{i=1}^n \sum_{w=1}^{T_w} t_i P_{iw} (x_{ij} + y_{ij}) A_{jw} \leq C * Z_j \quad \forall (j) \in S \quad (5)$$

İstasyon Kısıtı

$$\sum_{i \in W_j} (x_{ij} + y_{ij}) - |W_j| Z_j \leq 0 \quad \forall (j) \in S \quad (6)$$

İşçi Atama Kısıtı

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} A_{jw} \leq 1 \quad \forall (w) \in S \quad (7)$$

$$\sum_{w=1}^{m_{max}} A_{jw} \leq 1 \quad \forall (j) \in S \quad (8)$$

$$Z_j - \sum_{w=1}^{T_w} A_{jw} = 0 \quad \forall (j) \in S \quad (9)$$

Besleme Kısıtı

$$KU * q_l \leq KV \quad \forall (l) \in S \quad (10)$$

$$\sum_{l=1}^L q_l \leq KSV \quad (11)$$

0 -1 Kısıtları

$$x_{ij}, y_{ij}, V_{ju}, Z_j, A_{jw} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i \text{ ve } \forall (j) \in S \quad (12)$$

Modelin amacı, istasyon sayısını ve depodan süpermarkete gönderilecek miktarı minimize etmektir. Amaç fonksiyonu tek amaçlı olması için depodan süpermarkete besleme miktarının, amaç fonksiyonu üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. *Kısıt (2)*, her görevin hattın önüne veya arkasına atanabileceğini göstermektedir. *Kısıt (3)*, işlerin öncülü olan bir işin ya öncülüyle aynı istasyona ya da öncülünden sonraki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. *Kısıt (4)*, ardılı olan bir işin ya ardılıyla aynı istasyona ya da ardılından sonraki bir istasyona atanmasını

sağlamaktadır. *Kısıt (5)*, her bir istasyona atanan toplam görev süresinin işçinin performans kriterleri dahilinde, belirlenen çevrim süresinden daha uzun olamayacağını öngörür. Hem görev istasyonu ataması hem de işçi istasyonu atamaları bu kısıtlamanın sol tarafında dikkate alınır ve bu doğrusal bir yapı değildir. *Kısıt (6)*, eğer bir istasyona atanmış bir iş var ise o istasyonun açılmasını sağlar. *Kısıt (7)*, her çalışanın en fazla bir istasyona atanmasını sağlar. *Kısıt (8)*, bir istasyona en fazla bir işçi atanmasını sağlar. *Kısıt (9)*, açılan her istasyona bir ve sadece bir işçi atanmasını sağlar. *Kısıt (10)*, her tur da depodan süpermarkete gönderilecek miktarın araç kapasitesini aşmamasını sağlar. *Kısıt (11)*, depodan süpermarkete, toplam gönderilecek miktarın, süpermarket kapasitesini aşmamasını sağlar.

Önerilen doğrusal olmayan optimizasyon modeli, daha iyi bir performans süresi elde etmek için doğrusallaştırılmıştır. Tüm değişkenler ikili olduğu için, doğrusallaştırma işlemi ek ikili değişkenler ve kısıtlamalar tanımlanarak gerçekleştirilebilir.

$$(x_{ij} + y_{ij}) = k_{ij}$$

$$A_{jw} * k_{ij} = S_{ijw} \quad \forall(i, j, w)$$

Böylece, tüm $A_{jw} * k_{ij}$ çarpımlarını modelde doğrusal hale getirmek için S_{ijw} değişkeni ile değiştirilmiştir. Ayrıca modeli doğrusal hale getirebilmek için aşağıdaki kısıtlar modele eklenecektir.

$$A_{jw} + k_{ij} \geq 2S_{ijw} \quad \forall(i, j, w)$$

$$A_{jw} + k_{ij} \geq 1 + S_{ijw} \quad \forall(i, j, w)$$

Doğrusal model aşağıda verilmiştir;

$$\text{Enk } Z = \sum_{j=1}^{m_{\max}} Z_j + w1 * \sum_{l=1}^L q_l$$

$$\sum_{j=1}^{m_{\max}} k_{ij} = 1 \quad \forall(i) \in S$$

$$A_{jw} + k_{ij} \geq 2S_{ijw} \quad \forall(i, j, w)$$

$$A_{jw} + k_{ij} \geq 1 + S_{ijw} \quad \forall(i, j, w)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{w=1}^{T_w} t_i P_{iw} S_{ijw} \leq C * Z_j \quad \forall(j) \in S$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (m_{max} - j + 1)(x_{rj} - x_{sj}) \geq 0 \quad \forall (r, s) \in S$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (m_{max} - j + 1)(y_{rj} - y_{sj}) \geq 0 \quad \forall (r, s) \in S$$

$$\sum_{i \in W_j} k_{ij} - ||W_j|| \cdot Z_j \leq 0 \quad \forall (j) \in S$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} A_{jw} \leq 1 \quad \forall (w) \in S$$

$$\sum_{w=1}^{m_{max}} A_{jw} \leq 1 \quad \forall (j) \in S$$

$$Z_j - \sum_{w=1}^{T_w} A_{jw} = 0 \quad \forall (j) \in S$$

$$KU * q_l \leq KV \quad \forall (l) \in S$$

$$\sum_{l=1}^L q_l \leq KSV$$

$$x_{ij}, y_{ij}, k_{ij}, V_{ju}, Z_j, A_{jw}, S_{ijw}, = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i \text{ ve } [j = 1, 2, \dots, m]$$

Bu modelin GAMS paket programı için hazırlanmış kodları Ek-1'tedir. İşlerin süreleri ile ilgili veriler Ek-2'de, işçilerin yetenek matrisi Ek-3'de bulunmaktadır.

4. GERÇEK BİR UYGULAMA

Bursa' da yer alan ve 160 çalışanıyla beraber asansör kabinleri, asansör butonları ve komple asansör paket ürünleri üreten firmada 10 montaj hattı bulunmaktadır. Bu montaj hatlarında büyük boyutlu parçalar işlem görmektedir. Çalışılan projede panel, direk ve başlık montaj hattı olmak üzere 3 farklı hat üzerinde ölçümler yapılmıştır. Bu hatlarda yapılmakta olan toplam 30 adet iş vardır.

1. Galvaniz paneli yerleştirilir.

2. Panel destek eklenir.

3. Sağ bağlantı sacı.

4. Sol bağlantı sacı.

5. Yangın sacı yerleştirilir.

6. L sacı eklenir.

16. Zımparalama (Panel)

17. Zımparalama (Başlık)

18. Çift taraflı bant (Panel)

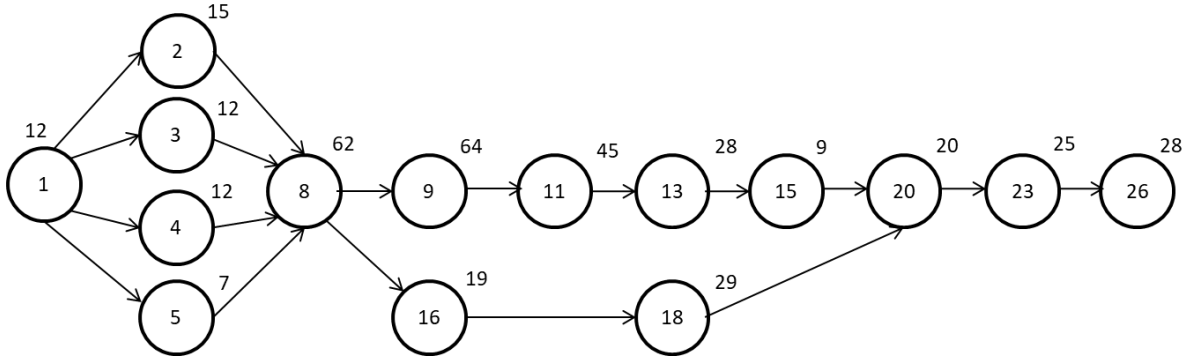
19. Çift taraflı bant (Başlık)

20. Bant koruyucu çıkarma (Panel)

21. Bant koruyucu çıkarma (Başlık)

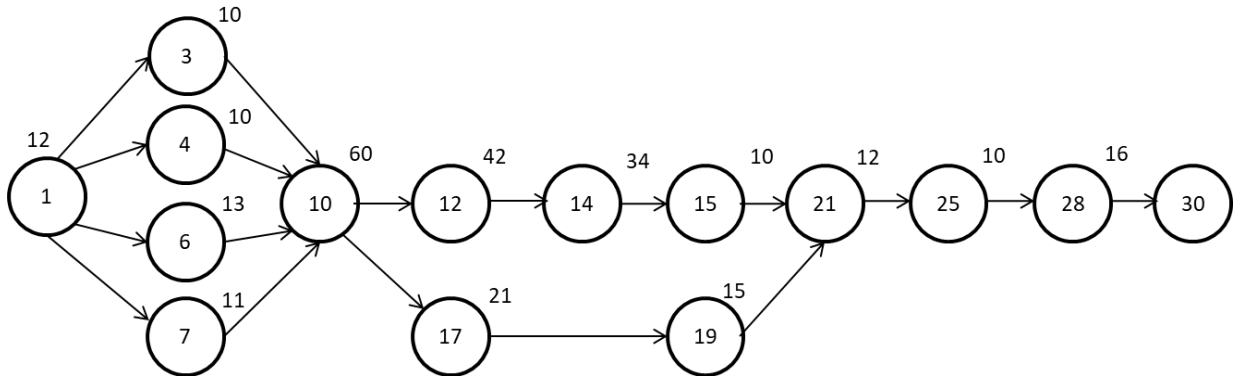
7. C profili eklenir.
8. Punto kaynak yapılır.
9. Manuel kaynak (Panel)
10. Manuel kaynak (Direk ve Başlık)
11. Çapak alma (Panel)
12. Çapak alma (Direk ve Başlık)
13. Taşlama (Panel)
14. Taşlama (Direk ve Başlık)
15. Koruyucu boya sıkılır.
22. Galvaniz direk eklenir.
23. Paslanmaz panel giydirilir.
24. Paslanmaz direk giydirilir.
25. Paslanmaz başlık giydirilir.
26. Panel perçinlenir.
27. Direk perçinlenir.
28. Başlık perçinlenir.
29. Kafes somon yerleştirilir.
30. Kilit takımı takma.

Panel montaj hattındaki işlerin öncelik diyagramı Şekil 4.1.'de verilmiştir.



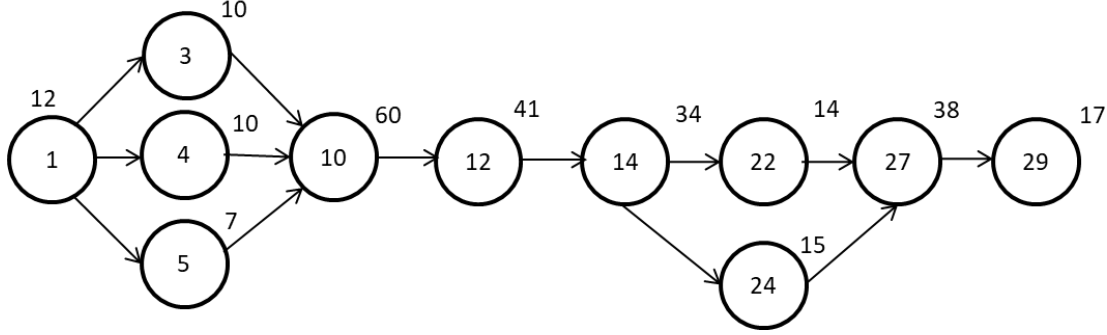
Şekil 4.1. Panel Montaj Hattı Öncelik Diyagramı

Başlık montaj hattındaki işlerin öncelik diyagramı Şekil 4.2.'deki gibidir.



Şekil 4.2. Başlık Montaj Hattı Öncelik Diyagramı

Direk montaj hattındaki işlerin öncelik diyagramı Şekil 4.3.’teki gibidir.



Şekil 4.3. Direk Montaj Hattı Öncelik Diyagramı

Görevlerin ürün çeşitlerine göre talepleri ve işlem süreleri Ek-2 de verilmiştir.

Mevcut sistemde birden fazla olan I-tipi hatları, tek bir hatta birleştirip U-tipi montaj hattı elde etmek istediğimiz için tüm işler, ortak bir öncelik diyagramında bir araya getirildi.

Ağırlıklı ortalama yöntemine göre işlerin hangi işlemlerden geçeceği bilgisi Şekil 4.4.’deki ortak öncelik diyagramı ile sağlanır. Ortak öncelik diyagramında yer alan süreler, talep miktarları ve gerçek işlem süreleri üzerinden ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılarak oluşturulur. Ağırlıklı ortalama süre yöntemi aşağıda açıklanmıştır;

Tablo 4.1. Ağırlıklı Ortalama Süre Örneği

	Model						Toplam
	A	A	A	B	C	C	
Gerçek İşlem Süresi	15	15	15	0	0	0	45
Ağırlıklı Ortalamaya Göre İşlem Süresi	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	45

Tablo 4.1.’de modellere göre gerçek işlem süreleri ve ağırlıklı ortalamaya göre işlem süreleri verilmiştir. A, B ve C ürünlerinin talepleri sırasıyla 30000, 10000 ve 20000 adettir. Üretim düzgünleştirmeye göre üretim sıralaması A-A-A-B-C-C şeklindedir. Her bir ürünün

ağırlıklı ortalamaya göre süresi aşağıdaki AOS denklemi ile bulunur ve bu işlem her bir görev için tek tek yapılır.

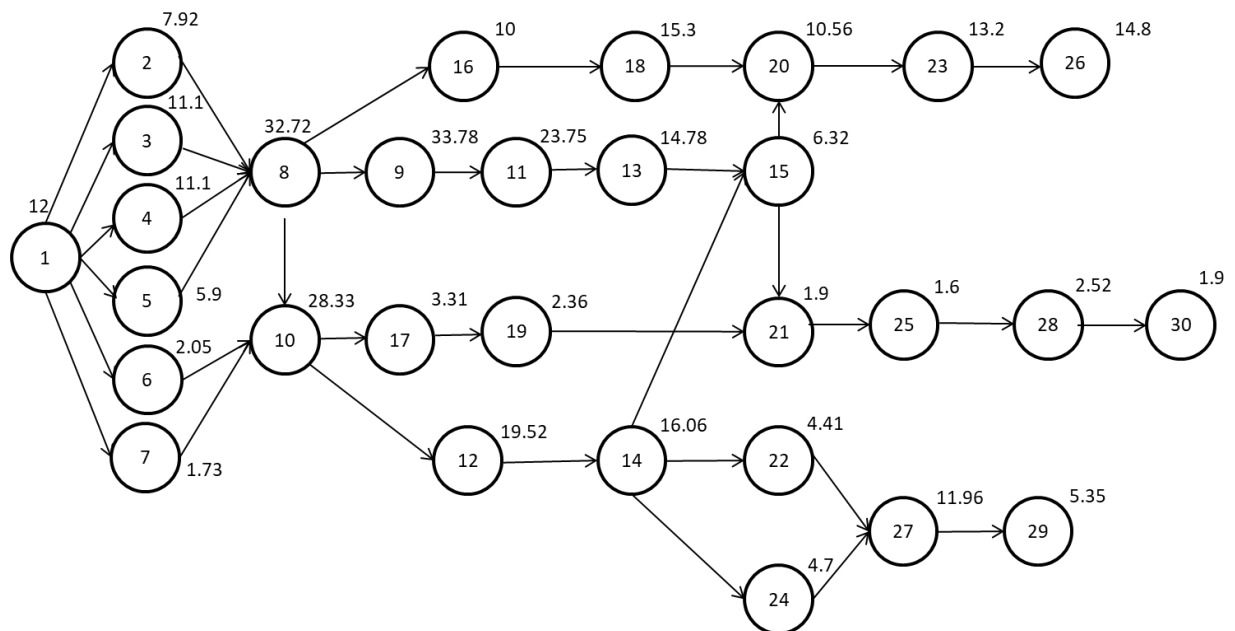
$$AOS = \frac{\sum_{k=0}^n (k \cdot \text{Ürünün Talebi} + k \cdot \text{Ürünün Gerçek İşlem Süresi})}{\text{Ürünlerin Toplam Talebi}}$$

Buna göre verilen örneğin işlem süreleri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\text{AOS} = \frac{30000 * 15 + 10000 * 0 + 20000 * 0}{60000} = 7,5$$

Her bir ürünün işlem süresi 7,5 saniye olarak ele alınacaktır. Normalde 6 ürünün toplam işlem süresi olan 45 saniye, işlem süreleri her bir ürüne eşit olarak dağıtıldığında yine 45 saniye olarak kalacaktır. Bu yöntem ile ortak bir öncelik diyagramı kullanıp, en yüksek süreleri baz aldığımızda oluşan, atıl sürelerin ortadan kaldırılmasıyla sistem dengeye oturacaktır.

Buna göre, Şekil 4.4.'te ağırlıklı ortalama işlem sürelerine göre oluşturulan öncelik diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Ortak Öncelik Diyagramı

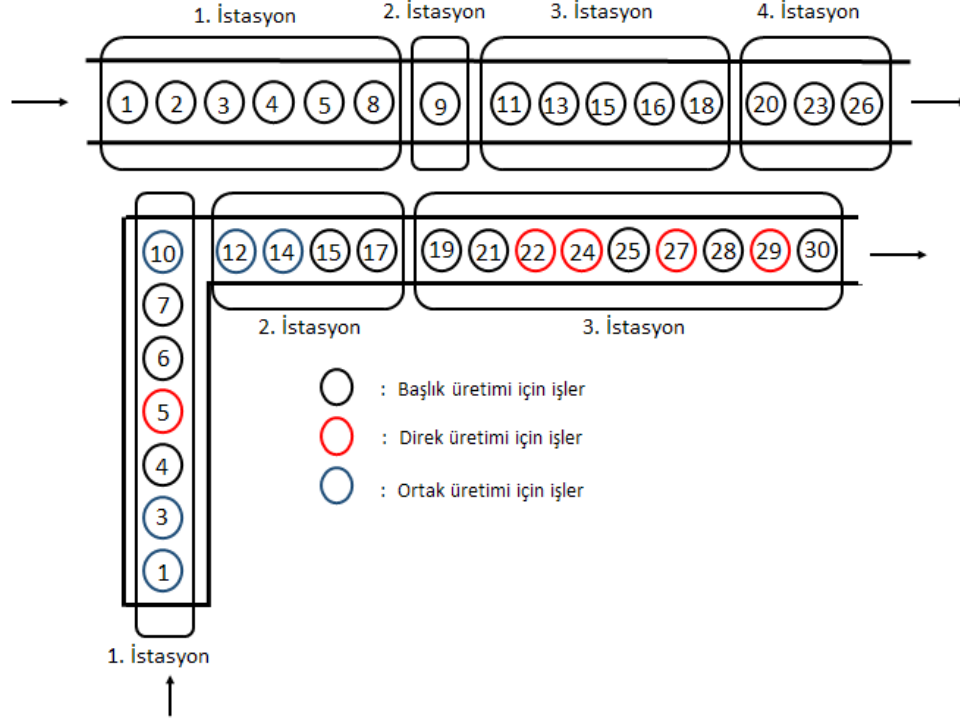
Bu süreler ile kurulan model ile yapılan optimizasyon çalışmalarının sonucunda gerçekleşen atamalar Tablo 4.2.'de verilmiştir. Bu atamalara göre işlerin toplam standart süresi 330.802 saniye iken işlere atanan işçilerin yetenekleri sayesinde bu süre 317.27 saniyeye indirilmiştir.

Tablo 4.2. Optimize Atamalar

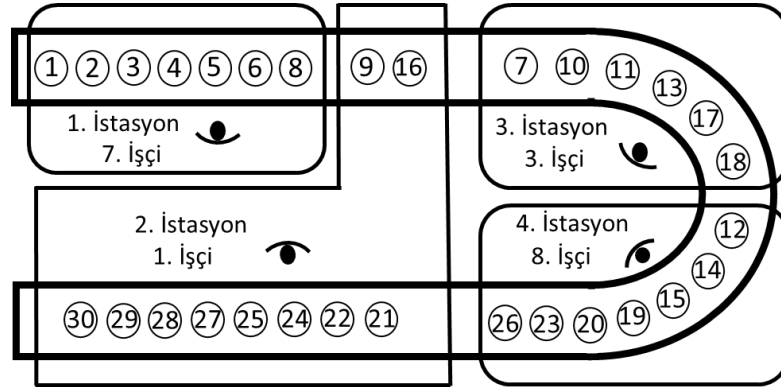
İşler	İşçi	İstasyon			
		1	2	3	4
1	7	1			
2	7	1			
3	7	1			
4	7	1			
5	7	1			
6	7	1			
7	3			1	
8	7	1			
9	1		1		
10	3			1	
11	3			1	
12	8				1
13	3			1	
14	8				1
15	8				1
16	1		1		
17	3			1	
18	3			1	
19	8				1
20	8				1
21	1		1		
22	1		1		
23	8				1
24	1		1		
25	1		1		
26	8				1
27	1		1		
28	1		1		
29	1		1		
30	1		1		
Toplam İstasyon Süresi		79.5	78.98	79.25	79.5

Mevcut durum montaj hattı yerleşimi Şekil 4.5.'deki gibidir ve toplam 7 istasyondan oluşmaktadır. Oluşturulan optimizasyon modelin çıktılarına göre elde edilen U-tipi montaj hattı yerleşimi ise Şekil 4.6. üzerinde gösterilmiştir ve 4 istasyondan oluşmaktadır. İki şekil kıyaslandığında istasyon sayısında belirli bir düşüş gözlemlenmiştir. Dağınık şekillerde bulunan I tipi montaj hatlarının bir araya getirilip U-tipi montaj hattına dönüştürülmesiyle firma

içerisinde alan tasarrufu yapılmıştır. Aynı zamanda istasyon sayısının azalmasının avantajlarına dayanarak montaj hattında çalışması gereken işçi sayıları azaltılmıştır. Bu sayede firma aynı oranda verim sağlayarak bütçeden de tasarruf elde etmiştir. İşçiler kendi görev aldıkları istasyonlar dışında herhangi bir problemle karşılaştıkları zaman kısa sürede çözüm üretebilmektedir. Uygulanan optimizasyon modeli sonucu firma içerisinde birçok alanda fayda sağlanmıştır.



Şekil 4.5. Mevcut Durum I-Tipi Yerleşim



Şekil 4.6 Optimizasyon Sonucu U-Tipi Yerleşim

Denge kaybı, hat etkinliği ve düzgünlük indeksi gibi performans kriterlerine göre yapılmış değerlendirmelerde, yapılan optimizasyon sonrası sistem performansının mevcut durumdan oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Montaj hattında dengelemenin yanı sıra beslemede de optimizasyon yapılarak firma içi malzeme taşıma hatları iyileştirilmiştir. Karmaşık olan taşıma işlemleri basitleştirilmiştir ve değer katmayan faaliyetler ortadan kaldırılmıştır.

U-tipi montaj hatlarında, manuel montaj işlemleri yapılmasından kaynaklı olarak işçi performansının firma için önemli bir etkisi vardır. Her işçi her görevi aynı işlem süresi içinde gerçekleştiremediği için işçi performansları dikkate alınarak hat dengeleme yapılmalıdır [57]. Bu, gerçek sürelerin işçilerin performans düzeylerinin dahil olmasıyla, varsayılan standart sürelerden farklı olmasına sebep olmaktadır. Fakat literatürdeki U-tipi montaj hattı çalışmaları, görev sürelerinin işçi performansından bağımsız olduğunu varsaymaktadır. Bu çalışmada, işçilerin performansı, gerçekleştirilen her bir iş için, her bir işçinin, o işe ait yetenek katsayısını hat dengeleme optimizasyon modeline yansıtmıştır. Bu amaçla doğrusal olmayan bir optimizasyon modeli tasarlanmıştır. Daha sonra bu model, modele belirli kısıtlar eklenerek doğrusallaştırılmıştır.

Literatürde U-tipi ve karma modellenli montaj hatlarının dengelenmesi üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu konularla beraber, performansa göre işçi atama ve hat besleme konularının birlikte incelendiği çalışma sayısı oldukça azdır. Bu araştırma, bahsedilen 4 konuyu bir arada incelediği için literatüre katkıda bulunacaktır. Literatürde ele alınan bazı çalışmalar, ortak öncelik diyagramı oluşturulurken en yüksek süreleri baz alarak modelleme yapmıştır. Oysaki en yüksek sürelerin ele alınması yüksek düzeyde atıl sürelerin oluşmasına ve israfa neden olmaktadır. Ele alınan ağırlıklı işlem süreleri ile üretim düzgünleştirilmesi sağlanarak, sistem dengeye ulaşmıştır. Üretim düzgünleştirme sayesinde karma modellenli montaj hattında üretilen ürünlerin hangi sırayla işleme girmesi gerektiği belirlenerek montaj hattında tek parça akış sağlanmıştır. Montaj hattı için gerekli olan malzemeleri, hattın önüne veya arkasına stoklamak yerine akışın kesildiği yere süpermarket yerleştirilerek gerekli parçaların tedariği buradan sağlanmaktadır.

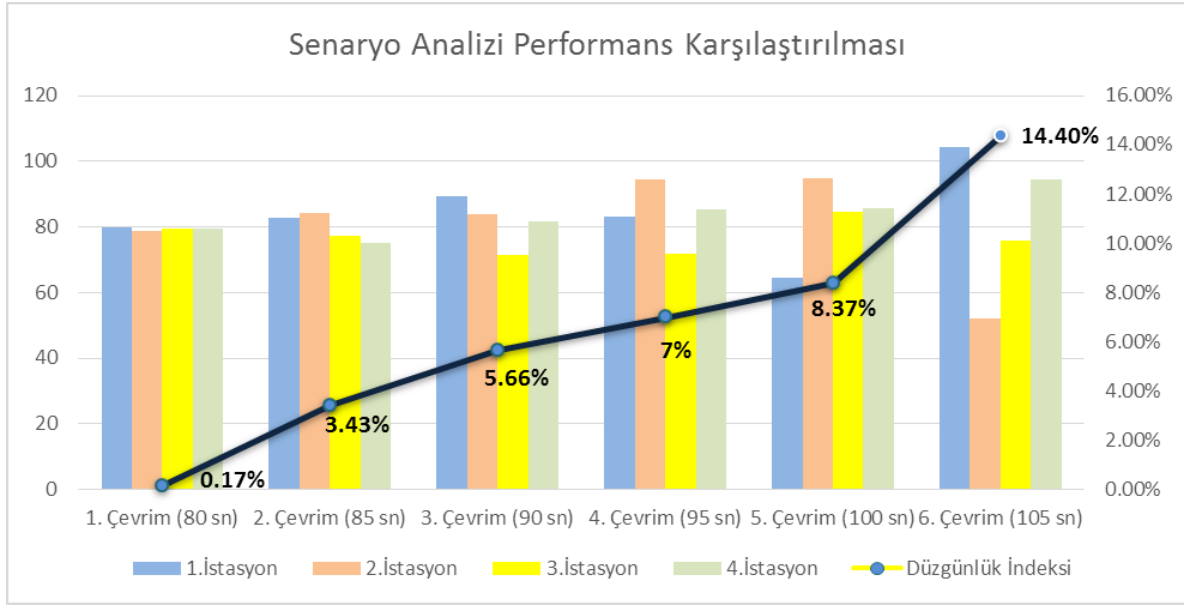
Literatürde yapılan bazı çalışmalarda tek başına montaj hattı dengelemesi ele alınmıştır ve bu durum bir firma için yeterli olmamaktadır. Taşınması gereken miktarların da tam zamanında,

istasyonların çevrim sürelerine eş zamanlı olarak, yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada eş zamanlı dengeleme sağlanarak firma verimliliği arttırılmıştır.

Tablo 4.3. Senaryo Analizi

Çevrim Süresi	İstasyon	İşçi	Görevler	İstasyon Süresi (sn)	Atıl Süre (sn)
80	1	7	1-2-3-4-5-6-8	79,5	0,5
	2	1	9-16-21-22-24-25-27-28-29-30	78,98	1,02
	3	3	7-10-11-13-17-18	79,25	0,75
	4	8	12-14-15-19-20-23-26	79,5	0,5
85	1	6	1-2-3-4-5-7-8-30	82,86	2,14
	2	4	6-10-12-16-23-26	84,4	0,6
	3	3	9-11-18-25-28-29	77,49	7,51
	4	13	14-15-16-17-19-20-21-22-24-27	75,14	9,86
90	1	7	1-2-3-4-5-6-7-8-16	89,48	0,52
	2	12	6-10-15-20-21-23-25-26-28-30	84,06	5,94
	3	1	9-12-14-24	71,46	18,54
	4	2	11-13-17-18-19-22-27-30	81,64	8,36
95	1	1	13-15-18-20-21-23-25-26-28-30	83,08	11,92
	2	13	1-2-3-4-5-8-16	94,35	0,65
	3	5	6-7-12-14-17-19-22-24-27-29	71,75	23,25
	4	2	9-10-11	85,51	9,49
100	1	6	1-2-4-5-6-22-24-27-29	64,53	35,47
	2	8	3-8-15-20-21-23-25-26-28-30	95	5
	3	9	9-12-14-16-17-19	84,56	15,44
	4	11	7-10-11-13-18	85,91	14,09
105	1	6	1-3-16-18-20-23-26-27-29	104,37	0,63
	2	7	4-6-14-15-21-22-24-25-28-30	51,94	53,06
	3	1	2-5-7-11-12-13-17-19	75,97	29,03
	4	13	8-9-10	94,39	10,61

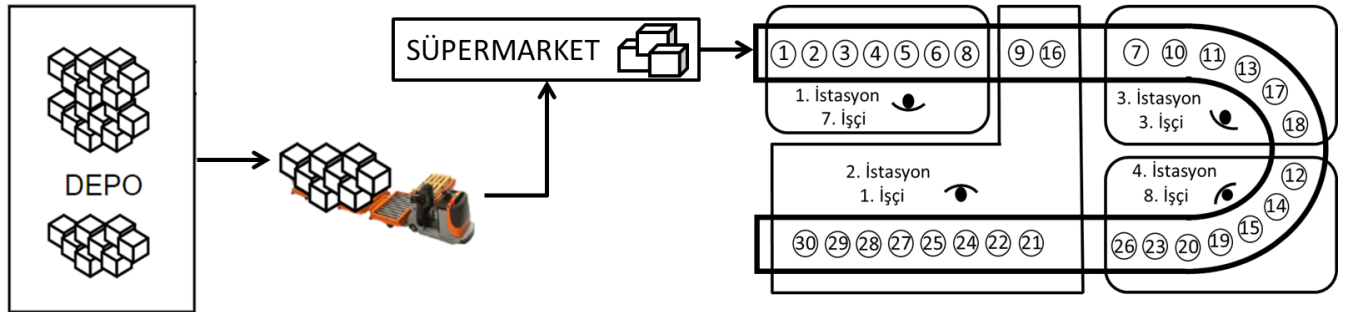
Tablo 4.3.'de farklı çevrim sürelerine göre senaryo analizleri oluşturulmuştur. Bu analizlerin sonucunda, işçilerin hangi istasyonlara atandıkları ve hangi görevleri yerine getirdikleri gösterilmiştir. Bunlara bağlı olarak oluşan atıl süreler incelenmiştir. Bunun sonucunda çevrim süresinin 80 olduğu durumda firmaya en yüksek verimin sağlandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. Senaryo Analizi Performans Karşılaştırması

Farklı senaryo analizlerine bağlı olarak istasyonlar arası dengesizlik baz alınarak düzensizlik indeksleri Şekil 4.7.'te gösterilmiştir. Bunun yanı sıra farklı çevrim sürelerine göre istasyon sürelerinin değişimi gözlemlenmiştir. Bütün veriler incelendiğinde en iyi sonuçların çevrim süresinin 80 saniye olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.8.'de besleme sistemi görülmektedir. Sisteme göre depodan süpermarkete tugger train ile besleme yapılır. Montaj hatlarında gerekli olan parçalar ise süpermarketten sağlanır.



Şekil 4.8. Besleme Sistemi

5. SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlara göre yapılan çalışma ile; firmanın yerleşiminin düzeltilmesine, işçilerin en iyi performansı gösterecek şekilde atanmasına, ortaya çıkan sorunlara ve oluşabilecek belirsizliklere karşı hızlı cevap verebilmesine, ara stok ve darboğazların ortadan kaldırılmasına, gereksiz faaliyetlerin elimine edilmesine, üretim temin süresinin azaltılmasına olanak sağlar.

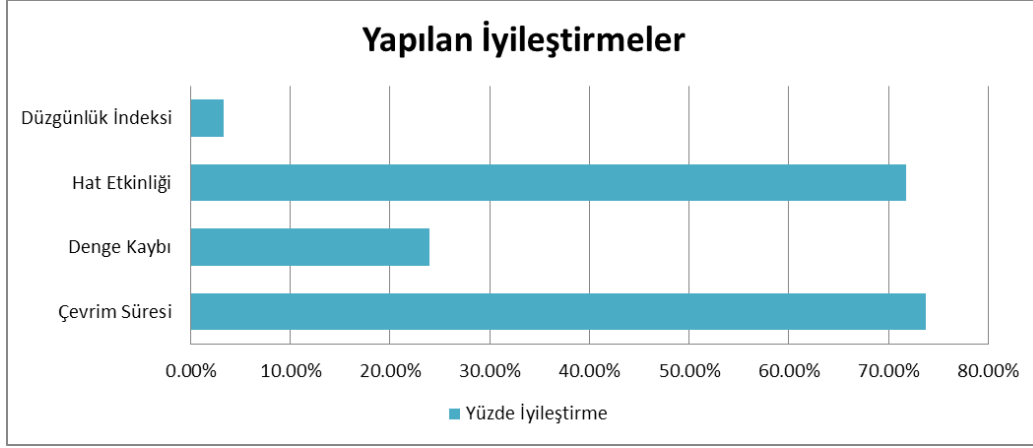
Tablo 5.1.'e bakıldığı takdirde firmada yer alan mevcut panel, başlık ve direk montaj hatlarının ortalama çevrim süreleri 534,819 saniyedir. Montaj hatlarının aynı şekilde ortalama denge kaybı %69,68, hat etkinlikleri %21,97 ve düzgünlük indeksleri %3,52 olarak hesaplanmıştır.

Tabloda görüldüğü üzere müşterinin firmadan talep ettiği bir birim ürün için gerekli olan takt süresinin 140,23 sn olduğu görülmektedir. Yapılan senayo analizi sonucu montaj hattının çevrim süresi 80 saniye olarak belirlenmiştir.

Optimizasyon modeli sonucu toplam çevrim süresinde 454,819 saniye azalma görülmektedir. Denge kaybında ise %63,43 oranında azalma görülerek firma içi verimlilik arttırılmıştır. Aynı zamanda hat etkinliğinde %71,78 artış sağlanmış ve düzgünlük indeksi %3,35 oranında düşürülerek montaj hattında yüksek oranda olumlu dönüşler elde edilmiştir. Yapılan tüm iyileştirmeler Şekil 5.1.'de grafik üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Denge Hesapları

Montaj Hattı	Çevrim Süresi		Denge Kaybı		Hat Etkinliği		Düzgünlük İndeksi	
	Hesaplama	Sonuç	Hesaplama	Sonuç	Hesaplama	Sonuç	Hesaplama	Sonuç
Panel	$\frac{8985600}{33765 \text{ adet / ay}}$	266.121	$\left[\frac{3 * 266,121 - 387}{4 * 266,121} \right] * 100$	38.64%	$\frac{387}{4 * 266,121} * 100$	36.35%	$\frac{\sqrt{7705}}{4 * 266,121} * 100$	8.25%
Başlık	$\frac{8985600}{10071 \text{ adet / ay}}$	892.225	$\left[\frac{3 * 892,225 - 276}{3 * 892,225} \right] * 100$	89.68%	$\frac{276}{3 * 892,225} * 100$	10.31%	$\frac{\sqrt{2682}}{3 * 892,225} * 100$	1.94%
Direk	$\frac{8985600}{20142 \text{ adet / ay}}$	446.112	$\left[\frac{3 * 446,112 - 258}{3 * 446,112} \right] * 100$	80.72%	$\frac{258}{3 * 446,112} * 100$	19.27%	$\frac{\sqrt{25}}{3 * 446,112} * 100$	0.37%
U tipi Karma	$\frac{8985600}{63978 \text{ adet / ay}}$	140.23	$\left[\frac{4 * 80 - 300}{4 * 80} \right] * 100$	6.25%	$\frac{300}{4 * 80} * 100$	93.75%	$\frac{\sqrt{0.304}}{4 * 80} * 100$	0.17%



Şekil 5.1. Yapılan İyileştirmeler

Gelecek çalışmalarda hat veya istasyon sayıları artırılarak çok araçlı hat besleme konuları ele alınabilir. Bu çalışmada sabit (deterministik) olarak ele alınan iş süreleri yerine değişken (stokastik) süreler ele alınarak yeniden çözümlenebilir. En kötü durum senaryolarına karşı gürbüz (robust) model oluşumu incelenebilir. Montaj hattında verilen ağırlıklı ortalama sürelerine rassallık ve belirsizlik dahil edilebilir. Montaj hattı dengeleme modeli, büyük boyutlu problemler için ele alınarak, sezgisel yöntemler uygulanabilir. NP-Hard problemlerine dahil olan montaj hattı dengeleme için meta sezgisel yöntemler uygulanabilir.

6. KAYNAKÇA

[URL-1] www.tasiad.org.tr/wp-content/uploads/2019/06/AsansorSektoruRaporu2019.pdf, Asansör sektörü ile ilgili bilgiler, 25 Kasım 2019.

[URL-2] <https://www.hasasansor.com.tr>, Firma hakkındaki bilgiler, 14 Kasım 2019.

[1] Polat, O., Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalarla Çözülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2008, 1-149.

[2] Gökçen, H., Ağpak, K., Benzer, R., “Balancing Of Parallel Assembly Lines”, International Journal of Production Economics, 103 : 600–609, 2006.

[3] Ajenblit, D. A. & Wainwright, R. L. (1998, Mayıs). Applying Genetic Algorithms To The U-Shaped Assembly Line Balancing Problem. Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence. The 1998 IEEE International Conference, 96-101.

[4] Gen, Mitsuo, Cheng, Runwei ve Lin, Lin. "Network Models and Optimization, Multiobjective Genetic Algorithm Approach", Springer, London, 2008.

[5] Süer, G.A., “Designing Parallel Assembly Lines”, Computer and Industrial Engineering, 35: 467-470, 1998.

[6] Gökçen, H., “Çok Modelli Montaj Hatlarında Model Parti Sıralarının Belirlenmesi: Dal ve Sınır Yaklaşımı”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10 (1): 34-45, 1997.

[7] Scholl, A., Boysen, N., “Designing Parallel Assembly Lines With Split Workplaces: Model And Optimization Procedure”, International Journal of Production Economics, 119 : 90-100, 2009.

[8] Çelikçapa, Feray Odman, Üretim Yönetimi ve Teknikleri, Alfa Basım Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul, 2000.

[9] Çakır., “İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme İçin Tavlama” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.

[10] Rekiek, B., Delchambre, A., Assembly Line Design The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms, Springe, 2006.

[11] Scholl, A., Balancing and Sequencing of Assembly Lines, Physica-Verlag, Heidelberg, 1999.

- [12] Acar, N., Eştaş., Kesikli Sürekli Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, Milli Prodüktivite Yayınları: 309, Üçüncü Baskı, Mpm Endüstri Şubesi, Ankara, 1991.
- [13] Keskintürk, T., Küçük, B., Karışık Modelli Montaj Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Dengelenmesi, Yönetim, 53, 52-63, 2006.
- [14] Erkut, H., Baskak, M., Stratejiden Uygulamaya Tesis Tasarımı, İrfan Yayıncılık, İstanbul, 1997.
- [15] Acar N., Eştaş., Kesikli Sürekli Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, Milli Prodüktivite Yayınları: 309, Üçüncü Baskı, Mpm Endüstri Şubesi, Ankara, 1991.
- [16] Ignall, E.J., Paralel Sequencing and Assembly Line Problems, Operations Research, 9 (6), 841-848, 1965.
- [17] Sniedovich, M., 1981. Analysis of Preference Order Assembly Line Problem, Management Science, 27 (9), 1067-1104.
- [18] Scholl, A., Klein, R., 1999. Balancing Assembly Lines Effectively – A Computational Comparison, European Journal of Operational Research, 114, 50-58.
- [19] Dar-El, E.M.,Rubinovitch, M., 1979. MUST-A Multiple Solutions Technique for Balancing Single Model Assembly Lines, Management Science, 25 (11), 1105-1114.
- [20] Brosch, A., Wiendahl, H.P., 1990. Simultaneous Assembly: Shortening Production Time, Industrial Management and Data Systems, 90 (4), 6-12.
- [21] İşlier, A. (1998). Üretim Hattı Nedir? Hat Dengeleme Ne Demektir? BÜLTEN, MMOB Mak. Müh. Odası, Eskişehir Şubesi Yayını, Yıl 7 Sayı 35:17- 21.
- [22] Shin, D., Min, H., 1991. Uniform Assembly Line Balancing with Stochastic Task Times, Management, 11 (8), 23-24.
- [23] Eryürük, S., H., Kalaoğlu, F., Baskak, M., 2011. Konfeksiyon Üretiminde İstatistiksel Yöntemle Montaj Hattı Dengeleme, Tekstil ve Konfeksiyon, 65- 71.
- [24] Acar, N., Ertas, S., Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, MPM Yayınları, Ankara, 156, 1986.
- [25] Erel, E., Sarin, S. C. 1998. ‘‘A Survey Of The Assembly Line Balancing Procedures’’. Production Planning & Control, 9 (5), 414–434.
- [26] Oksuz, M.K., Buyukozkan, K., Satoglu, S.I., U-shaped Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem: a Mathematical Model and Two Meta-heuristics, Computers & Industrial Engineering, 2017.

- [27] Kılıç, H.S., Durmuşoğlu, M.B. “Design Of Kitting System İn Lean-Based Assembly Lines”, Assembly Automation, 2012, 32(3), 226-234.
- [28] Hua, S.Y., Johnson, D.J. (2010), “Research İssues On Factors İnfluencing The Choice Of Kitting Versus Line Stocking”, International Journal of Production Research, Vol. 48 No. 3, pp. 779-800.
- [29] Büyüközkan, K., Karma modellenli montaj hatlarına yönelik döngüsel malzeme besleme sistemi optimizasyonu, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2018.
- [30] Ağpak, K., Gökçen, H. “Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2002, 4: 2, 29-40.
- [31] Kılıç, H.S., Durmuşoğlu, M.B. “Design of kitting system in lean-based assembly lines”, Assembly Automation, 2012, 32(3), 226-234.
- [32] Salveson, M.E. (1955), “The Assembly Line Balancing Problem”, Journal of Industrial Engineering, 6, 18-25.
- [33] Bozer, Y.A., McGinnis, L. F., (1992), “Kitting versus line stocking: A conceptual framework and a descriptive model”, International Journal of Production Economics, 28(1), 1–19.
- [34] Kim, Y.K., Kim, Y.J., Kim, Y., (1996). “Genetic algorithms for assembly line balancing with various objectives”, Computers & Industrial Engineering, 30(3), 397–409.
- [35] Urban, T.L., (1998) “Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines”, Management Science, 44(5), 738–741.
- [36] Ajenblit, D. A., Wainwright, R. L. Applying genetic algorithms to the U-shaped assembly line balancing problem. 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No.98TH8360).
- [37] Matanachai, S., Yano, C. A. 2001. Balancing mixed-model assembly lines to reduce work overload. IIE Transactions, 33(1), 29–42.

- [38] Miltenburg, J. , 2002, “Balancing and scheduling mixed-model U-shaped production lines”, International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 14(2), 119–151.
- [39] Hopp W.J., Tekin E., Oyen M.P.V., 2004, “Benefits of Skill Chaining in Serial Production Lines with Cross-Trained Workers”, Management Science Vol. 50, No.1, January 2004, pp. 83-98
- [40] Aase, G.R., John, R.O., Marc, J.S. “U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study.” European Journal of Operational Research, 2004, 156:3, 698–711
- [41] Keskintürk T., Küçük B., Karışık modelli montaj hatlarının genetik algoritma kullanılarak dengelenmesi, Yönetim, Yıl:17,Şubat 2006, Sayı: 53.
- [42] Song B.L., Wong W.K., Fan J.T. Ve Chan S.F., “A recursive operator allocation approach for assembly line-balancing optimization problem with the consideration of operator efficiency”, Computers & Industrial Engineering, 51, (2006) , 585-608.
- [43] Toksari, M. D., Isleyen, S. K., Guner, E., Baykoc, O. F., “Simple and U-type assembly line balancing problems with a learning effect”, Applied Mathematical Modelling, 2008, 32(12), 2954–2961.
- [44] Hwang R., Katayama H., “A multi-decision genetic approach for workload balancing of mixed-model U-shaped assembly line systems”, International Journal of Production Research, Vol. 47, No. 14, 15 July 2009, 3797-3822
- [45] Satoğlu, S. I., Şahin I. E. “Design of a just-in-time periodic material supply system for the assembly lines and an application in electronics industry”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, 65, 319-332.
- [46] Hanson, R., Brolin, A. “Comparison of kitting and continuous supply in in-plant materials supply”, International Journal of Production Research, 2013, 51(4), 979-992.
- [47] Oksuz, M. K., & Satoglu, S. I. Balancing U-shaped assembly lines by considering human factors. In Proceedings of the global conference on engineering and technology management, Istanbul, Turkey, June 23–26.

- [48] Otto, C., Otto, A. “Extending assembly line balancing problem by incorporating learning effects.”, International Journal of Production Research, 2014, 52 (24), 7193–7208.
- [49] Venkatesh, Jonnalagedda, Balaji, Dabade., “Application of Simple Genetic Algorithm to U-Shaped Assembly Line Balancing Problem of Type II”, IFAC Proceedings Volumes, 2014, 47: 3, 6168-6173.
- [50] Caputo, A.C., Pelagagge, P.M., Salini, P., “A model for kitting operations planning”, Assembly Automation, 2015, 35(1), 69-80.
- [51] Kılıç, H.S., Durmuşoğlu, M.B. “Design of kitting system in lean-based assembly lines”, Assembly Automation, 2012, 32(3), 226-234.
- [52] Nakade, K. (2016), “Effect of worker sequence on cycle time in a U-shaped line with chase mode”, International Journal of Production Research, 55(10), 2752–2763.
- [53] Caputo, A.C., Pelagagge, P.M., Salini, P., “Selection of assembly lines feeding policies based on parts features and scenario conditions”, International Journal of Production Research, 2018, 56(3), 1208-1232.
- [54] Büyüközkan, K., Karma modelli montaj hatlarına yönelik döngüsel malzeme besleme sistemi optimizasyonu, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2018.
- [55] Jia-Hua Zhang, Ai-Ping Li, Xue-Mei Liu , “Hybrid genetic algorithm for a type-II robust mixed-model assembly line balancing problem with interval task times”, Advenges In Manufacturing, 2019, 7, 117-132.
- [56] Küçükdeniz, T., İş Etüdü ve Ergomi, İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, İstanbul
- [57] Battaia, O., Dolgui, A., “A Taxonomy Of Line Balancing Problems And Their Solution Approaches”, International Journal of Production Economics, 2013, 142(2):259–277

ÖZGEÇMİŞ

Ayça YİRMİLİ, 6 Mayıs 1997 tarihinde Bursa’da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Dörçelik İlköğretim Okulu’nda tamamlamıştır. Lise öğrenimini ise Özlüce Anadolu Lisesi’nde tamamlayıp 2015 Haziran ayında mezun olmuştur. 2015 yılının Eylül ayında ise Toros Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ ne başlamıştır ve 2018 yılının Eylül ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ne yatay geçiş yapmıştır. Ana dili olan Türkçe dışında İngilizce, Almanca ve Felemenkçe bilmektedir. 2209 TÜBİTAK Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı’ndan destek almaya ve 2242 TÜBİTAK Üniversite Öğrencileri Araştırma Proje Yarışmaları’nda bölge finallerine çıkmaya hak kazanmıştır. Şu an da lisans eğitimine devam etmektedir.

Fatime KOYUNCU, 2 Nisan 1997 tarihinde Kilis’de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Pınarkule İlköğretim Okulu’nda tamamlamıştır. Lise öğrenimini ise Gürpınar Lisesi’nde tamamlayıp 2015 Haziran ayında mezun olmuştur. 2015 yılının Eylül ayında ise İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ ne başlamıştır. 2018 yılının Eylül ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ne yatay geçiş yapmıştır. Ana dili olan Türkçe dışında İngilizce bilmektedir. 2209 TÜBİTAK Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı’ndan destek almaya ve 2242 TÜBİTAK Üniversite Öğrencileri Araştırma Proje Yarışmaları’nda bölge finallerine çıkmaya hak kazanmıştır. Şu an da lisans eğitimine devam etmektedir.

İrem ÇUKURLU, 10 Temmuz 1997 tarihinde İstanbul’da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Hasan Kağnıcı İlköğretim Okulu’nda tamamlamıştır. Lise öğrenimini ise Osman Gazi Lisesi’nde tamamlayıp 2015 Haziran ayında mezun olmuştur. 2016 yılının Eylül ayında ise Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ne başlamıştır ve 2018 yılının Eylül ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ne yatay geçiş yapmıştır. Ana dili olan Türkçe dışında İngilizce ve başlangıç seviyesi olarak Korece bilmektedir. Şu an da lisans eğitimine devam etmektedir.

Emine TEKİN, 19 Nisan 1997 tarihinde Ankara’da doğmuştur.İlk ve orta öğretimini Yenituran İlköğretim Okulu’nda tamamlamıştır.Lise öğrenimi ise Anadolu Çağrı Koleji tamamlayıp 2015 yılında mezun olmuştur.2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği’nde lisans eğitimine başlayarak 2020 yılında eğitime devam etmektedir.Ana dili Türkçe dışında İngilizce bilmektedir.2016 yılı GİKAMP’a katılım ,2017 yılı Girişimcilik Vakfı bursu ,2019 yılı Teknofest’e katılarak final derecesi ve 2020 yılı 2209 TÜBİTAK Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı’ndan destek almaya ve 2242 TÜBİTAK Üniversite Öğrencileri Araştırma Proje Yarışmaları’nda bölge finallerine çıkmaya hak kazanmıştır.

EKLER

EK-1 GAMS KODLARI

model balance;

sets

i index of tasks /1*30/

j index of workstations /1*7/

w workers /1*13/

l kaçınıcı çevrim /1*10/

ss /1*6/;

alias(i,r,s);

set

O(r,s)"orijinal diyagram"

/ 1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,2.8,3.8,4.8,5.8,6.10,7.10,8.10,8.9,8.16,16.18,9.11,

11.13,13.15,18.20,15.20,10.17,10.12,17.19,12.14,19.21,15.21,14.15,14.22,14.24,

21.25,25.28,28.30,20.23,23.26,22.27,24.27,27.29/

H(r,s)"hayali diyagram"

/ 26.23,23.20,30.28,28.25,25.21,29.27,27.22,27.24,22.14,24.14,15.14,21.15,21.19,

20.15,15.13,20.18,14.12,12.10,19.17,17.10,13.11,11.9,9.8,18.16,16.8,10.8,10.6,

10.7,8.5,8.4,8.3,8.2,2.1,3.1,4.1,5.1,6.1,7.1 / ;

scalar Dmax/7/;

scalar sss/0/;

scalar w1 /0.0001/;

scalar starttime, elapsed;

scalar KV /8/

*araç kapasitesi metre küp

KU /2/

*Malzemelerin hacmi A,A,A,B,C,C

KSV /24/;

variables

obj objective

amac1

amac2 ;

binary variables

$x(i,j)$ if task i is assigned to the FRONT of station j

$y(i,j)$ if task i is assigned to the BACK of station j

$A(j,w)$ if worker w is assigned to station j

$z(j)$ if station j is utilized

$kij(i,j)$ normalization variable

$sijw(i,j,w)$ normalization variable

positive variable

sonucsure

ssure

q(l) l çevriminde kaç adet ürün depodan süpermarkete taşınıyor;

parameters

t(i)

\$call GDXXRW isciyetenek_deger.xlsx par=t rng=t!A1:B30 rdim=1 cdim=0

\$GDXIN isciyetenek_deger.gdx

\$LOAD t

\$GDXIN

isciyetenek(i,w)

\$call GDXXRW isciyetenek_deger.xlsx par=isciyetenek rng=isciyetenek!A1:N31 rdim=1
cdim=1

\$GDXIN isciyetenek_deger.gdx

\$LOAD isciyetenek

\$GDXIN

C(j) cycle time /1*7 100/

D(j)/1*7 10/

results(ss)

results2(ss);

equations

Objective

amack1

amack2

con1 assignment constraint -atama kisiti

con2 lineer making equation - linnerleştirme denklemi

con3 lineer making equation - linnerleştirme denklemi

con4 lineer making equation - linnerleştirme denklemi

con5 cycle time constraint -cevrin zamani kisiti

con6 precedence relationship constraint 1 -oncelik kisiti 1

con7 precedence relationship constraint 2 -oncelik kisiti 2

con8 station assignment constraint -iş istasyona atama kisiti

con9 worker constraint 1

con10 worker constraint 2

con11 station assignment constraint - işçiyi istasyona atama kisiti

cevrimsuresi

cevrimsuresi2

con14 araç kapasitesi kısıtı

con15 süpermarket kapasitesi kısıtı;

Objective.. obj=e=amac1+w1*amac2;

amack1..amac1=e=sum(j,z(j)*ord(j));

amack2..amac2=e=sum(l,q(l));

```

con1(i).. sum(j,x(i,j)+y(i,j))=e=1;

con2(i,j).. x(i,j)+y(i,j)=e=kij(i,j);

con3(i,j,w).. A(j,w)+kij(i,j)=g=2*sijw(i,j,w);

con4(i,j,w).. A(j,w)+kij(i,j)=l=1+sijw(i,j,w);

con5(j).. sum((i,w),t(i)*isciyetenek(i,w)*sijw(i,j,w))=l=(C(j)+sss)*z(j);

con6(O(r,s)).. sum(j,(Dmax-ord(j)+1)*(x(r,j)-x(s,j)))=g=0;

con7(H(r,s)).. sum(j,(Dmax-ord(j)+1)*(y(r,j)-y(s,j)))=g=0;

con8(j).. sum(i,(x(i,j)+y(i,j)))-(D(j)*z(j))=l=0;

con9(w).. sum(j,A(j,w))=l=1;

con10(j).. sum(w,(A(j,w)))=l=1;

con11(j).. z(j)-(sum(w,A(j,w)))=e=0;

cevrimsuresi(j).. sum((i,w),t(i)*isciyetenek(i,w)*sijw(i,j,w))=e=sonucsure(j);

cevrimsuresi2.. sum (j,sonucsure(j))=e=ssure;

con14(l).. KU*q(l)=l=KV;

con15.. sum(l,q(l))=l=KSV;

model balance/all/;

option threads=-1;

option optcr=0.03;

option reslim=1000000;

option ITERLIM=90000000;

solve balance using MIP minimizing obj;

```

```

display z.l, x.l, y.l, kij.l, sijw.l, sonucsure.l, q.l, obj.l, amac1.l, amac2.l;

file sonucbalance/C:\Users\Toshiba\Desktop\cevrinsonuc\sonucbalance.txt/;

put sonucbalance/;

loop (ss,

if(ord(ss)<7,

    starttime=jnow;

    solve balance using MIP minimizing obj;

    elapsed=(jnow-starttime)*24*3600;

    if(balance.modelStat<>%modelStat.optimal% and balance.modelStat<>%modelStat.integer
Solution%,

Olursuz sonuçlar buraya düşüyor, olursuz sonuçları txt dosyasına yazdırmamak için burayı boş
bırakıyoruz, olursuz sonuçlar bir önceki iterasyonun değerlerini alıyor

    else

        results(ss)=obj.l;

        results2(ss)=ssure.l;

        put sss results(ss) results2(ss) / ;

    );

sss=sss+5;

);

);

putclose sonucbalance;

```

Ek 2- İşlerin Süreleri

Görev	Model				Ağırlıklı Ortalama Süre
	Panel(33765)	Başlık(10071)	Direk(20143)		
1	12	12	12		12
2	15	0	0		7.916269401
3	12	10	10		11.05550259
4	12	10	10		11.05550259
5	7	0	7		5.898122822
6	0	13	0		2.046343331
7	0	11	0		1.73152128
8	62	0	0		32.72058019
9	64	0	0		33.77608278
10	0	60	60		28.3349224
11	45	0	0		23.7488082
12	0	42	41		19.519608
13	28	0	0		14.77703622
14	0	34	34		16.05645602
15	9	10	0		6.323871895
16	19	0	0		10.02727457
17	0	21	0		3.305631535
18	29	0	0		15.30478751
19	0	15	0		2.361165382
20	20	0	0		10.55502587
21	0	12	0		1.888932306
22	0	0	14		4.407727536
23	25	0	0		13.19378233
24	0	0	15		4.722565217
25	0	10	0		1.574110255
26	28	0	0		14.77703622
27	0	0	38		11.96383188
28	0	16	0		2.518576408
29	0	0	17		5.352240579
30	0	12	0		1.888932306

Ek 3- İşçi Yetenekleri

Görev	İşçi												
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13
1	1.05	1.04	1.04	0.99	0.94	0.99	0.91	1.04	0.99	1.04	0.96	1.06	1.10
2	1.06	0.93	1.01	1.08	0.99	0.97	1.01	1.10	1.02	0.92	0.93	1.08	1.07
3	0.93	0.96	1.08	1.01	0.96	0.96	1.00	1.03	1.04	1.05	0.93	1.01	1.00
4	1.05	0.96	0.94	1.08	0.97	1.03	0.93	0.94	0.97	1.05	1.01	0.94	0.99
5	1.06	0.91	1.09	1.01	1.06	0.96	0.90	0.93	0.92	0.96	0.92	1.10	0.97
6	1.08	1.02	1.01	1.04	1.08	0.95	1.00	1.00	0.95	0.97	0.98	1.09	0.97
7	0.91	1.07	1.02	0.99	0.99	1.08	0.92	0.98	0.91	1.03	0.98	0.94	1.07
8	1.00	1.09	0.95	1.07	0.98	0.98	0.97	1.02	1.05	1.04	1.06	0.97	1.07
9	1.02	1.03	0.96	1.02	0.93	0.92	0.97	1.08	0.99	0.92	0.92	0.99	0.96
10	1.03	0.95	0.91	0.95	1.06	1.06	1.08	0.92	0.99	0.94	1.01	1.06	0.95
11	0.96	1.01	0.90	1.09	1.07	0.99	1.09	1.10	0.90	1.06	1.10	0.92	1.01
12	0.90	0.99	0.95	0.91	1.06	0.99	0.90	1.01	1.05	1.04	1.07	1.10	1.01
13	0.93	1.05	0.90	0.95	1.02	1.09	1.05	0.98	1.07	1.06	0.94	1.09	0.99
14	0.93	0.91	0.97	0.99	0.94	0.97	1.01	0.93	0.92	0.96	1.08	1.07	0.91
15	1.09	0.98	1.00	0.96	0.90	0.99	1.09	0.98	0.91	0.94	1.03	0.97	0.95
16	1.04	1.07	0.99	0.96	1.08	0.96	1.04	0.95	1.03	1.05	0.98	1.08	1.00
17	1.01	1.08	0.98	0.95	0.99	0.91	1.09	0.98	0.94	0.91	0.91	1.02	0.90
18	0.92	0.96	0.91	1.02	1.08	1.08	0.91	0.90	1.09	1.00	1.01	1.04	0.90
19	0.98	0.94	1.05	1.03	0.99	0.98	0.99	0.98	1.06	0.90	1.05	1.07	1.05
20	0.97	1.10	0.93	1.07	1.05	0.98	1.05	0.91	1.04	1.07	0.97	0.94	1.00
21	1.03	0.93	1.07	0.93	0.96	0.91	0.90	1.02	1.09	0.96	1.00	0.90	1.07
22	1.07	0.98	1.01	1.05	1.08	0.99	0.99	1.04	1.07	1.02	1.03	1.09	1.09
23	1.09	0.91	1.07	1.02	1.06	1.02	1.08	0.92	1.05	1.00	1.05	1.07	1.05
24	0.92	1.04	1.05	0.92	1.05	0.98	0.93	1.08	0.98	0.93	0.90	1.08	0.97
25	1.02	1.01	0.97	1.04	1.05	1.03	0.91	1.05	1.06	1.01	1.03	1.10	1.01
26	1.08	1.06	1.00	0.97	0.98	1.01	1.04	0.98	0.90	1.01	0.99	0.96	0.99
27	0.93	1.00	1.09	1.05	0.98	0.98	1.08	1.03	0.97	1.03	1.07	0.91	1.05
28	1.02	1.00	1.04	1.01	1.04	1.07	1.09	1.07	0.98	1.06	1.10	0.92	1.07
29	1.10	1.00	1.06	1.00	0.91	0.97	1.06	0.93	0.92	0.90	0.99	1.05	0.90
30	0.93	0.91	0.96	0.97	1.06	0.99	0.95	0.94	0.94	0.97	1.07	0.95	0.99